

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Matemaatika ja statistika instituut

Annela Pajumets

**Farmi ja isa mõju Eesti piimalehmade piimajõudlus- ja
-kvaliteedinäitajatele**

Matemaatilise statistika eriala
Bakalaureusetöö (9 EAP)

Juhendaja Tanel Kaart

Tartu 2020

Farmi ja isa mõju Eesti piimalehmade piimajõudlus- ja -kvaliteedinäitajatele

Bakalaureusetöö

Annela Pajumets

Lühikokkuvõte. Käesoleva bakalaureusetöö üheks eesmärgiks on välja selgitada pullide kasutamise intensiivsus Eesti piimaveisekarjades viimastel aastatel. Teiseks eesmärgiks on uurida, kui suurt rolli mängib lehmade piimatoodangus ja -kvaliteedis isa, kui suurt rolli farm ning kas sama pulli järglased on erinevates farmides erineva tootlikkusega. Töös kasutatav andmestik pärineb Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS-st ning andmestikus on aastatel 2013-2019 tehtud kontroll-lüpside andmed. Uuritavateks toodangu- ja kvaliteedinäitajateks on piimatoodang, rasvaprotsent, valguprotsent ning somaatiliste rakkude arv. Analüüsi läbiviimiseks kasutatakse üldist lineaarset segamudelit.

CERCS teaduseriala: P160 Statistika, operatsioonianalüüs, programmeerimine, finants- ja kindlustusmatemaatika

Märksõnad: andmeanalüüs, üldine lineaarne segamudel, piimajõudlus, piimakvaliteet

The effect of farm and bull on Estonian dairy cattle's milk productivity and quality

Bachelor's thesis

Annela Pajumets

Abstract. The first aim of this Bachelor's thesis is to find out the intensity of bulls' usage in Estonian dairy cattle farms over the last couple of years. The second aim is to study the effects of bull and farm and their interaction effect on the milk production and quality traits. Dataset used in the thesis originates from Estonian Livestock Performance Recording Ltd and includes the test day records from 2013-2019. Milk production and quality traits to be studied are milk yield, fat percentage, protein percentage and somatic cell count. General linear mixed model is used to analyze the data.

CERCS research specialisation: P160 Statistics, operations research, programming, actuarial mathematics

Keywords: data analysis, general linear mixed model, milk productivity, milk quality

Sisukord

Sissejuhatus	5
1 Olulisemad piimajõudluse näitajad	7
1.1 Piimatoodang.....	7
1.2 Piima rasva- ja valgusisaldus	8
1.3 Somaatiliste rakkude arv ja toorpiima kvaliteedi määramine	8
2 Metoodika.....	11
2.1 Kirjeldav analüüs	11
2.2 Üldine lineaarne segamudel	11
3 Eesti piimalehmade andmestik.....	13
3.1 Andmestik ja selle esmane ülevaade.....	13
3.2 Uuritavate tunnuste jaotus.....	17
3.3 Piimalehmade arv farmide ja pullide lõikes	19
3.4 Kümne enim kasutatud pulli tütreid ja nende toodangunäitajad	22
4 Toodangunäitajate analüüs üldise lineaarse segamudeliga	26
4.1 Toodangunäitajatele rakendatud mudeli kuju.....	26
4.2 Laktatsiooni, poegimiskuu ja poegimisaasta mõju toodangunäitajatele	27
4.3 Farmi ja pulli ning nende interaktsiooni mõju lehmade piimajõudlusele.....	28
4.4 Farmide ja pullide vaheline erinevus mudelist hinnatuna	30
4.5 Farmi mõju kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangule.....	33
Kokkuvõte	39
Kasutatud kirjandus	41
Lisad.....	42
Lisa 1	42
Lisa 2	42
Lisa 3	45

Sissejuhatus

Jõudluskontrolli aastaaruande 2019 põhjal selgub, et 2019. aastal oli Eestis 81155 piimalehma, kelle aastatoodang isendi kohta oli ligikaudu 10,1 tonni piima [1]. Seevastu 2018. aastal oli Eestis 82519 lehma, kelle keskmine aastatoodang oli ligikaudu 9,8 tonni [2]. Seega on aastaga piimaveiste arv Eestis kahanenud, kuid toodang on kasvanud. Antud muutus ei ole omane ainult viimasele aastale, vaid sarnast tendentsi võib märgata juba viimased paar aastakümnet [2].

Piimatoodangu kasvamisega on kaasnenud ka mitmeid ebasoovitud trende – näiteks loomade karjas püsimise ja eluea vähenemine. Võrreldes 2019. aastat 2018. aastaga selgub, et viimase aastaga on karjas püsimise aeg vähenenud 4 päeva võrra [2]. Kolm peamist lehmade karjast väljamineku põhjust on sigimisprobleemid, jäsemete haigused ja vead ning udarahaigused ja vead [2]. Viimase olemasolust annab märku somaatiliste rakkude arvu tõus toorpiimas.

Lehmade piimatoodangu ja selle kvaliteedi määrab osaliselt ära keskkond ehk farmi söötmis- ja pidamistingimused ning osaliselt nende geeneetiline pagas, millest pool pärineb isalt. Seega on oluline, et kasutatud pullidel oleks „head geenid“. Kuna taolisi pulle ei ole ilmselt palju, kasutatakse neid üle Eesti erineva suurusega ning erinevate söötmis- ja pidamistingimustega farmides.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada pullide kasutamise intensiivsus Eesti piimaveisekarjades viimastel aastatel ning uurida, kui suurt rolli mängib lehmade piimatoodang ja -kvaliteedis isa, kui suurt osa farm ning kas sama pulli järglased on erinevates farmides erineva tootlikkusega.

Töös analüüsitav andmestik pärineb Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS-st (EPJ AS). Andmestikus on 1245133 kontroll-lüpsi andmed, mis on tehtud aastatel 2013-2019. Igal kontroll-lüpsil on mõõdetud lehma piimatoodang, piima valgu- ja rasvaprotsent ning somaatiliste rakkude arv piimas. Lisaks on iga lehma kohta teada järgnevad tunnused: laktatsioon, lüpsipäev, poegimiskuu ja -aasta, farmi ID ning pulli ID. Neid tunnuseid kasutatakse ka hiljem statistiliste mudelite koostamisel.

Antud bakalaureusetöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis tutvustatakse olulisemaid piimajõudluse kvaliteedinäitajaid ning nende viimaste aastate muutumise trende. Teises peatükis antakse ülevaade töös kasutatavatest statistilise analüüsi meetoditest.

Kolmandas peatükis on toodud andmestiku ülevaade ja kirjeldav statistika, samuti ülevaade kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangunäitajatest. Neljandas peatükis on esitatud üldiste lineaarsete segamudelite hindamise tulemused.

Andmete analüüsimisel on kasutatud statistika tarkvara RStudio 1.2.5033 ja töö on vormistatud tekstitöötlusprogrammis MS Word.

Autor soovib tänada töö juhendajat Tanel Kaarti pühendatud aja, arvukate selgituste, kasulike nõuannete ja suunamise eest.

1 Olulisemad piimajõudluse näitajad

Klassikalised piimajõudluse näitajad on piima kogus, piima rasva- ja valgusisaldus ning somaatiliste rakkude arv piimas. Järgneva peatüki eesmärk on anda ülevaade nende muutumise trendidest viimase kümne aasta jooksul ning selgitada, mida näitavad somaatilised rakud lehma piimatoodangus ja miks see näitaja oluline on. Peatükk baseerub kirjandusallikal [2], kui pole märgitud teisiti.

1.1 Piimatoodang

2019. aastal oli lehma aastane piima kogutoodang keskmiselt 10114 kg, mis on 329 kg võrra rohkem, kui sama näitaja eelneval 2018. aastal. Samuti on tabelist 1 näha, et viimase kümnendi jooksul on lehmade aastane piimatoodang olnud pidevas kasvutrendis. Kui võrrelda 2010. aasta lehma aastast piimatoodangut 2019. aasta näitajaga, siis on lehma aastase piimatoodangu kasv olnud märgatav – 2501 kg ehk 32,85%.

Lisaks lehma aastasele piimatoodangule on kasvanud ka lehma elueatoodang. Tabelist 1 on näha, et alates aastast 2015 on lehma piima elueatoodang olnud kasvutrendis. Kui võrrelda 2018. aastat 2019. aastaga, siis aastaga on lehma elueatoodang kasvanud keskmiselt 1027 kg võrra ehk 3,82%.

Kuigi lehma piima elueatoodang on viimase viie aasta jooksul olnud kasvutrendis, siis lehma karjas püsimise aeg on seevastu langenud. 2015. aastal oli lehma karjas püsimise aeg keskmiselt 1928 päeva, kuid 2019. aastal oli karjas püsimise aeg kahanenud 1847 päevale, mis tähendab, et viie aastaga on karjas püsimise aeg kahanenud rohkem kui 80 päeva võrra. Seega on piimatoodangu kasvamisega kaasnenud ka soovimatud trendid karjas püsimise aja vähenemise näol.

Tabel 1. Piimatoodangu näitajad lehma kohta

Aasta	Kogutoodang (kg)	Karjas püsimise aeg (päevades)	Piima elueatoodang (kg)
2010	7613	–	–
2015	8851	1928	25018
2016	9294	1898	25666
2017	9619	1888	26603
2018	9785	1851	26900
2019	10114	1847	27927

1.2 Piima rasva- ja valgusisaldus

Lisaks piimatoodangule on olulised piimajõudlusnäitajad ka rasva- ja valgutoodang. Tabelis 2 on toodud viimase kümne aasta keskmine rasva- ja valgutoodang lehma kohta, kus selgub, et rasvatoodang on viimaste aastate jooksul olnud langustrendis. 2019. aastal oli keskmine rasvatoodang lehma kohta 3,89%, kuid aasta varem oli sama näitaja 0,02% võrra kõrgem ehk 3,91%. Kui aga võrrelda 2019. aasta rasvatoodangut 2010. aasta rasvatoodanguga, siis selgub, et üheksa aastaga on rasvatoodang lehma kohta langenud 0,22% võrra ehk langus on olnud 5,35%.

Valgutoodang on seevastu viimasel kümnel aastal olnud kerges tõusutrendis. 2019. aastal oli valgutoodang lehma kohta 3,41%, mis on võrreldes varasema aastaga 0,02% võrra kõrgem. Kui aga võrrelda 2019. aasta valgutoodangut lehma kohta 2010. aasta sama näitajaga, siis on valgutoodang tõusnud 3,36%-lt 3,41%-ni, mis tähendab, et valgutoodang on kasvanud 0,05% võrra ehk 1,49%. Seega on rasvatoodangu langus olnud suurem kui valgutoodangu tõus.

Tabel 2. Rasva- ja valgutoodang lehma kohta

Aasta	Rasvatoodang (%)	Valgutoodang (%)
2010	4,11	3,36
2015	3,98	3,38
2016	4,00	3,36
2017	3,94	3,38
2018	3,91	3,39
2019	3,89	3,41

1.3 Somaatiliste rakkude arv ja toorpiima kvaliteedi määramine

Somaatilised rakud on verest piima siirdunud valgelibled (98-99% kogu somaatiliste rakkude arvust) ning piimanäärme epiteelrakud. Vere valgeliblede ülesandeks piimas on udarapõletikku põhjustavate mikroobide äratundmine, organismi alarmeerimine, bakterite hävitamine ning surnud koetükkide eemaldamine. Kui nisajuha kaudu on lehma udarasse tunginud haigusetekiitajad, siis lehma organism reageerib sellele udarapõletikuga, mis väljendub kas ainult somaatiliste rakkude arvu tõusus või lisanduvad ka muutused piimas. Seega näitab suur somaatiliste rakkude arv piimas põletikuprotsessi udaras [3].

Udaranakkuse ennustamiseks täpset somaatiliste rakkude arvu piirväärtust pole, sest piima somaatiliste rakkude arv sõltub väga paljudest teguritest, kuid on teada, et nakkusvabas udaraveerandis jääb somaatiliste rakkude arv valdavalt alla 100000 raku milliliitri kohta. Kui somaatiliste rakkude arv piimas on üle 150000 raku/ml, siis 65% tõenäosusega on lehma mõnes udaraveerandis põletikku põhjustav bakter. Kui aga somaatiliste rakkude arv jääb alla 150000 raku/ml, siis on 60% tõenäosus, et isend on nakkusvaba. Niisiis, mida suurem on lehma piima somaatiliste rakkude arv, seda suurem on tõenäosus, et lehmale on vähemalt üks udaraveerand nakatunud [3].

Uuringutest on ka selgunud, et kui piima somaatiliste rakkude arv ületab 100000 rakku/ml, siis lehma piimatoodang hakkab vähenema ning piima koostis muutub. See on tingitud sellest, et udaraveerandis olev põletik kahjustab piima tootvaid rakke. Sellest tulenevalt ka madalam somaatiliste rakkude arvu piirmäära kasutamine toob kaasa piimaveiste karjade udaraterwise paranemise. Praegu on jõudluskontrolli udaraterwise analüüsides lehma üldpiima somaatiliste rakkude arvu piirmääraks 150000 rakku/ml [3].

Somaatiliste rakkude arvu kasutatakse ka toorpiima kvaliteedi määramisel. Toorpiima kvaliteediklassi määravad toorpiimas sisalduvad mikroorganismid ja somaatiliste rakkude arv, mis leitakse laboratoorsete analüüsidega. Tabelis 3 on toodud toorpiima kvaliteediklassid ning iga kvaliteediklassi tingimused [4].

Tabel 3. Toorpiima kvaliteediklassid ja iga kvaliteediklassi tingimused

Kvaliteediklass	Kirjeldus	Mikroorganismide arv ml-s	Somaatiliste rakkude arv ml-s
Eliit	Väga hea kvaliteet	≤ 50000	≤ 300000
Kõrgem	Hea kvaliteet	≤ 100000	≤ 400000
I	Rahuldav kvaliteet	≤ 200000	≤ 600000
II	Mitterahuldav kvaliteet	> 200000	> 600000

Toorpiim määratakse sellesse kvaliteediklassi, millele vastavad toorpiimas olevate mikroorganismide ja somaatiliste rakkude arvud. Juhul, kui piimas sisalduvad mikroorganismide arv ja somaatiliste rakkude arv vastavad erinevatele kvaliteediklassidele, siis kuulub toorpiim madalamasse kvaliteediklassi. Toorpiima kvaliteedi ja koostisosade

määramiseks võetakse kõigist piimatootmisettevõtetest ja -majapidamistest vähemalt kord nädalas toorpiimaproove. Eestis on toorpiima nõuetekohaseks määrajaks Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS-i laboratoorium. Toorpiima kvaliteediklass kehtib toorpiimaproovi võtmise päevast kuni järgmise võtmise päevani [4].

2 Metoodika

2.1 Kirjeldav analüüs

Kirjeldava analüüsi eesmärk on anda ülevaade andmestikust ja seda lähemalt kirjeldada. Selle koostamisel kasutatakse peamiselt sagedustabeleid, mille tulemuste illustreerimiseks kasutatakse tulpdiagramme. Toodangunäitajate kirjeldamiseks kasutatakse peamisi arvkarakteristikuid – aritmeetilist keskmist, miinimumi, maksimumi ja standardhälvet. Laktatsioonikuude keskmiste alusel leitakse ka toodangunäitajate laktatsioonikõrverad, et kirjeldada toodangunäitajate muutumist laktatsiooni jooksul ja erinevust erinevatel laktatsioonidel. Toodangunäitajate jaotuse kirjeldamiseks kasutatakse histogramme.

Kirjeldava analüüsi käigus analüüsitakse ka ligikaudseid farmide suuruseid. Viimaste leidmiseks loetakse esmalt iga farmi ja kuupäeva tarvis kokku läbi viidud kontroll-lüpsid – oodatavalt võrdub saadud arv farmis konkreetsel kuupäeval lüpsil olnud lehmade arvuga. Seejärel leitakse iga farmi tarvis erinevate kuupäevade kontroll-lüpside arvude mediaan, mis ongi antud töös farmi suurus. Mediaani eelistatakse aritmeetilisele keskmisele, sest mediaan on äärmuslike väärtuste suhtes vähem tundlikum. See on oluline aspekt, sest kontroll-lüpside käigus võetakse küll proov kõigilt farmis olevatelt lehmadel, kuid vahel võib juhtuda, et suur osa võetud proovidest riknevad või on valesti võetud. Sellisel juhul ei peegelda aga kontroll-lüpsi proovide arv õiget lehmade arvu farmis ning äärmuslikud väärtused hakkavad mõjutama aritmeetilist keskmist.

2.2 Üldine lineaarne segamudel

Järgnev peatükk baseerub loengumaterjalil [5] ja artiklil [6].

Lineaarne mudel on uurija poolt eeldatav faktorite ja uuritava tunnuse vahekorra üldskeem, mille korral uuritava tunnuse oodatav väärtus esitatakse faktorite mõjude summana. Kui tavalise lineaarse mudeli – näiteks regressioon- ja dispersioonanalüüsi mudeli – korral eeldatakse uurimisobjektide ja mudeli jääkide sõltumatust, siis üldine lineaarne segamudel võimaldab modelleerida ka keerukamaid kovariatsioonistruktuure. Viimased leiavad sageli kasutust põllumajandusloomade aretuses, kus samu loomi on mõõdetud korduvalt ja/või on uuritavad loomad omavahel suguluses.

Klassikaliseim põllumajandusloomade aretuses kasutatav mudel on nn isa mudel, mis sisaldab söötmis- ja pidamistingimusi ning muid mittegeneetilisi mõjusid arvesse võtvaid fikseeritud faktoreid ja juhuslikku geneetilist mõju peegeldavat isa mõju:

$$E(y_{ijk}) = \mu + K_i + I_j.$$

Selles mudelis μ on mudeli vabaliige, K_i on nn karja-aasta-sesooni efekti (kõiksugu mittegeneetiliste efektide kombinatsiooni) i . taseme mõju, I_j on j . isa juhuslik mõju ning $E(y_{ijk})$ on karja-aasta-sesooni efekti i . tasemel j . isa järglasel k mõõdetud näitaja oodatav väärtus. Isa juhuslik mõju tähendab seda, et $I_j \sim N(0, \sigma^2_I)$, kus σ^2_I on isa mõjude (isadelt järglastele pärandunud geneetiliste efektide) dispersioon.

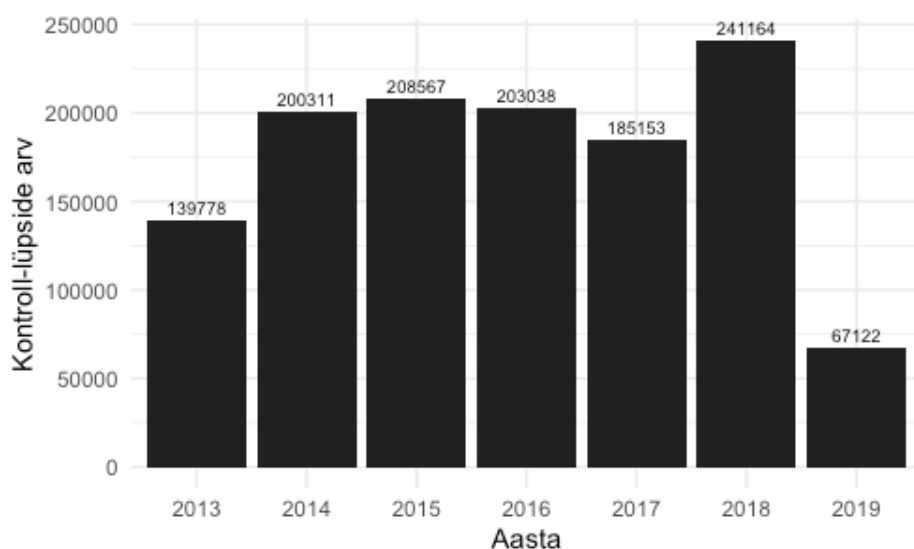
Käesolevas töös rakendatud mudel on täpsemalt kirjeldatud peatükis 4.1.

3 Eesti piimalehmade andmestik

3.1 Andmestik ja selle esmane ülevaade

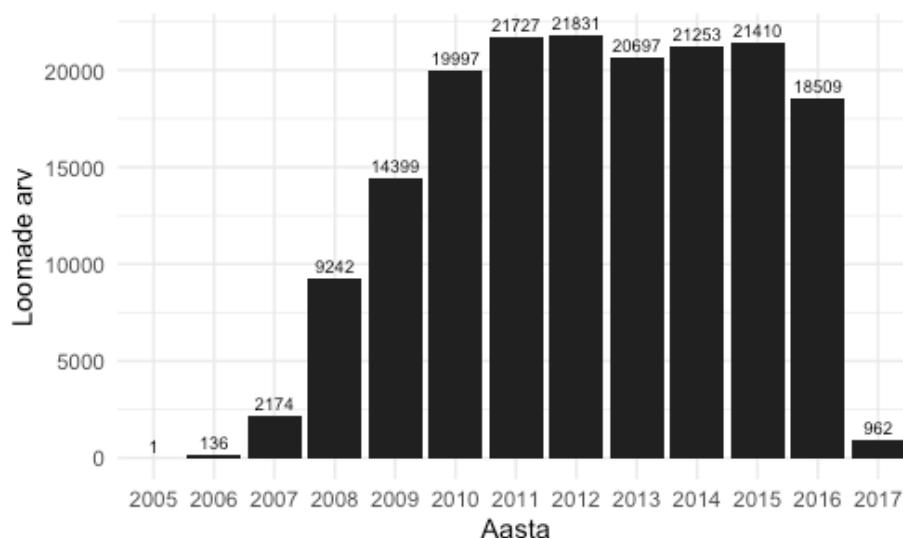
Töös analüüsitav piimalehmade kontroll-lüpside andmestik on pärit Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS-st (EPJ AS). Andmestik sisaldab aastatel 2013-2019 tehtud kontroll-lüpside andmeid. Andmestikus on kokku 1245133 rida, kus iga rida vastab ühele kontroll-lüpsile, ja 34 veergu, millest olulisemad on järgmised: lehma ID, laktatsioon, karja ID, kontroll-lüpsi kuupäev, laktatsioonipäev ehk lüpsipäev, laktatsioonikuu ehk lüpsikuu, poegimiskuu, poegimisaasta, piimatoodang kilogrammides, piima rasvaprotsent, piima valguprotsent, soomaatiliste rakkude arv piimas, soomaatiliste rakkude skoor, pulli ID ning lehma sünniaasta. Näide andmestikust on toodud lisas 1.

Andmestikus sisalduvad 1245133 kontroll-lüpsi on tehtud vahemikus 2013. aastast kuni 2019 aastani. Joonisel 1 on toodud kontroll-lüpside jaotus aastate kaupa, kust on näha, et enim kontroll-lüpside on tehtud 2018. aastal, mil tehti 241164 mõõtmist. 2019. aastal viidi mõõtmised läbi vaid jaanuaris ja veebruaris, mistõttu on ka 2019. aastal tehtud kontroll-lüpside arv palju väiksem võrreldes kõikide ülejäänud aastatega.



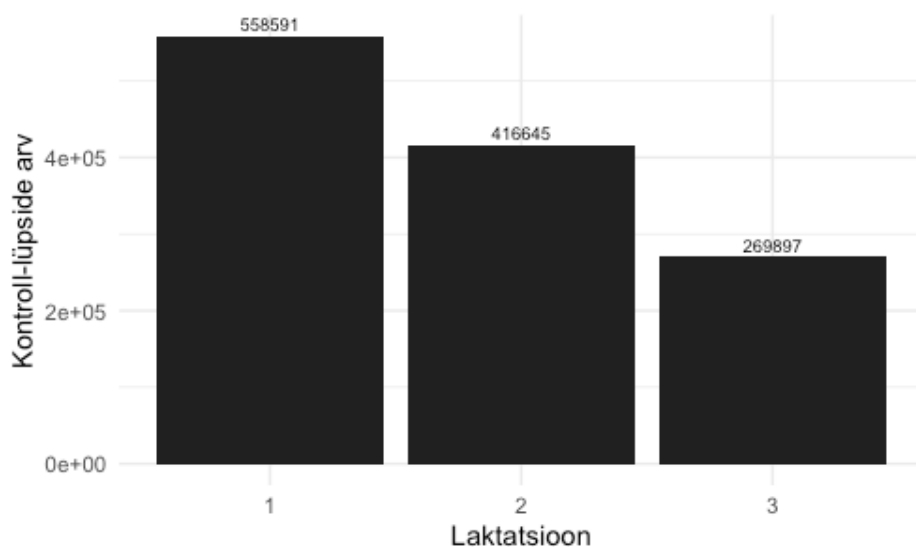
Joonis1. Kontroll-lüpside jaotus aastate kaupa

Kontroll-lüpsse võeti 172338 erinevalt piimaveiselt, kes olid sündinud aastatel 2005-2017. Joonisel 2 on näha lehmade sünniaastate jaotus.



Joonis 2. Piimaveiste jaotus sünniaastate kaupa

Kontroll-lüpsse on tehtud lehmade esimesel, teisel ja kolmandal laktatsioonil ning kontroll-lüpside jaotust erinevatel laktatsioonidel kirjeldab joonis 3. Laktatsiooni all mõistetakse perioodi poegimisest kinnijäämiseni või uue laktatsiooni alguseni [4] ja sisuliselt vastab laktatsiooninumber poegimiskorrale. Jooniselt on näha, et kõige rohkem mõõtmisi on tehtud lehmade esimesel laktatsioonil, mil tehti 558591 kontroll-lüpsi, mis moodustavad 44,86% kõikidest kontroll-lüpsidest. Kõige vähem tehti kontroll-lüpsse aga lehmade kolmandal laktatsioonil, mil viidi läbi 269897 kontroll-lüpsi, mis moodustavad 21,68% kõikidest kontroll-lüpsidest.



Joonis 3. Kontroll-lüpside jaotus laktatsioonide kaupa

Kontroll-lüpside käigus mõõdeti lehmadel päevane piimatoodang (kg), piima rasva- ja valgusisaldus (%) ja somaatiliste rakkude arv 1 ml piimas ning mõõtmisi teostati 12 laktatsioonikuul. Tabelis 4 on toodud toodangunäitajaid kirjeldavad arvkarakteristikud ning tabelites 5, 6 ja 7 on kolme erineva laktatsiooni toodangunäitajaid kirjeldavad arvkarakteristikud.

Tabel 4. Päevaste toodangunäitajate arvkarakteristikud.

Toodangunäitaja	Keskmine	Miinimum	Maksimum	Standardhälve
Piim (kg)	30,28	1,50	85,50	9,78
Rasv (%)	4,02	2,00	7,00	0,74
Valk (%)	3,42	2,02	6,94	0,36
Somaatilised rakud 1000*(tk/ml)	260,38	5	9999	715,01

Tabel 5. Esimese laktatsiooni päevaste toodangunäitajate arvkarakteristikud.

Toodangunäitaja	Keskmine	Miinimum	Maksimum	Standardhälve
Piim (kg)	27,94	1,50	76,60	7,68
Rasv (%)	4,00	2,00	7,00	0,71
Valk (%)	3,40	2,02	6,94	0,34
Somaatilised rakud 1000*(tk/l)	98,80	5	9999	596,75

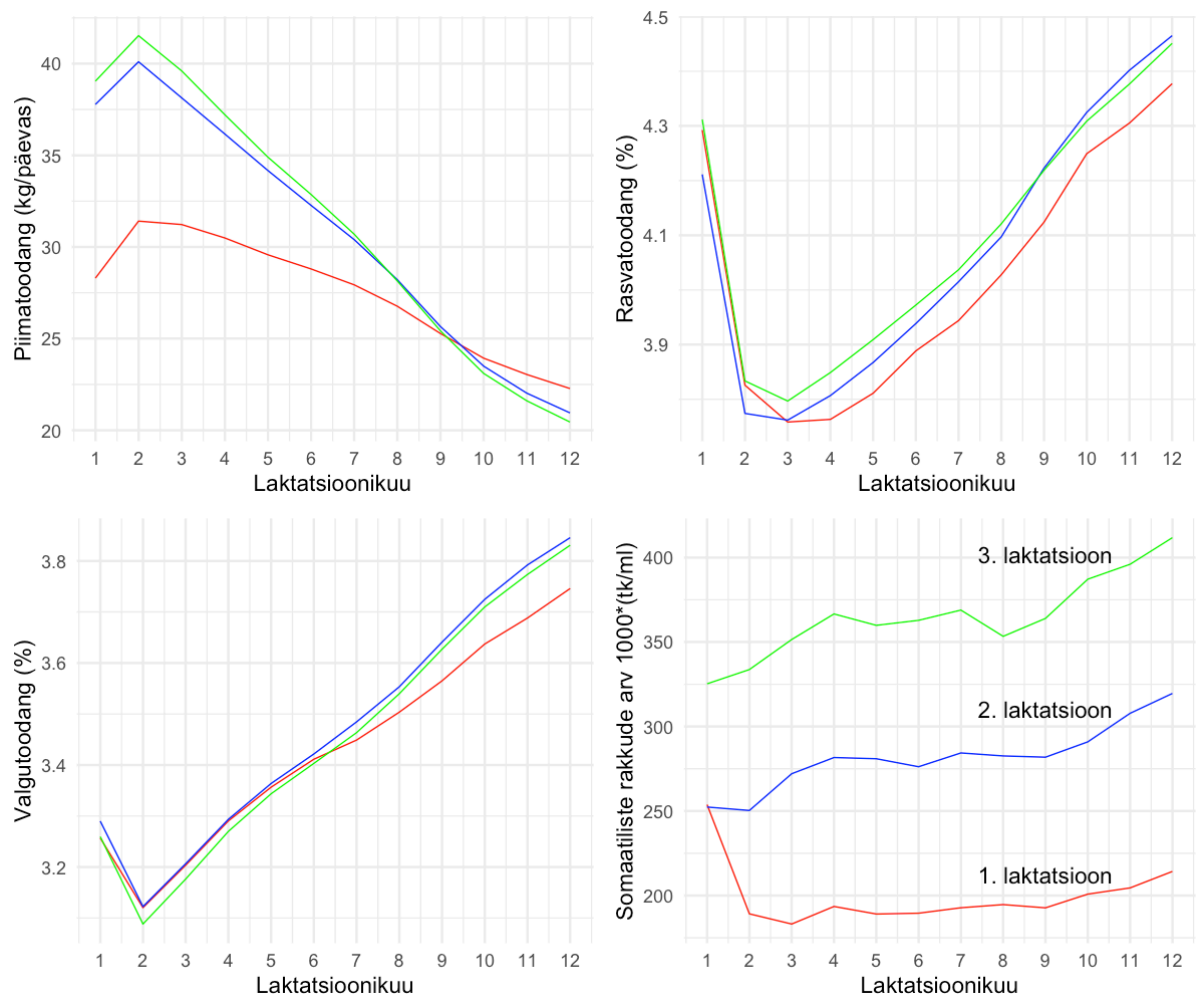
Tabel 6. Teise laktatsiooni päevaste toodangunäitajate arvkarakteristikud.

Toodangunäitaja	Keskmine	Miinum	Maksimum	Standardhälve
Piim (kg)	31,90	1,50	85,50	10,52
Rasv (%)	4,03	2,00	7,00	0,77
Valk (%)	3,44	2,03	6,81	0,37
Somaatilised rakud 1000*(tk/ml)	278,27	5	9996	743,81

Tabel 7. Kolmanda laktatsiooni päevaste toodangunäitajate arvkarakteristikud.

Toodangunäitaja	Keskmine	Miinum	Maksimum	Standardhälve
Piim (kg)	32,61	1,50	82,60	11,31
Rasv (%)	4,06	2,00	7,00	0,77
Valk (%)	3,41	2,06	6,76	0,37
Somaatilised rakud 1000*(tk/ml)	360,23	5	9995	867,55

Selgub, et toodangunäitajad varieeruvad laktatsiooni jooksul üksjagu. Samuti varieerub piimatoodang kolme laktatsiooni vahel, kus esimesel laktatsioonis on piimatoodang madalam kui teisel ja kolmandal laktatsioonis (joonis 4). Seevastu käituvad rasva- ja valguprotsent kõigil kolmel laktatsioonis üsnagi sarnaselt (joonis 4). Somaatiliste rakkude arv on jällegi esimesel laktatsioonis madalam kui teisel laktatsioonis ning kolmandal laktatsioonis on somaatiliste rakkude arv 1 ml piimas kõrgem, kui esimesel või teisel laktatsioonis (joonis 4).



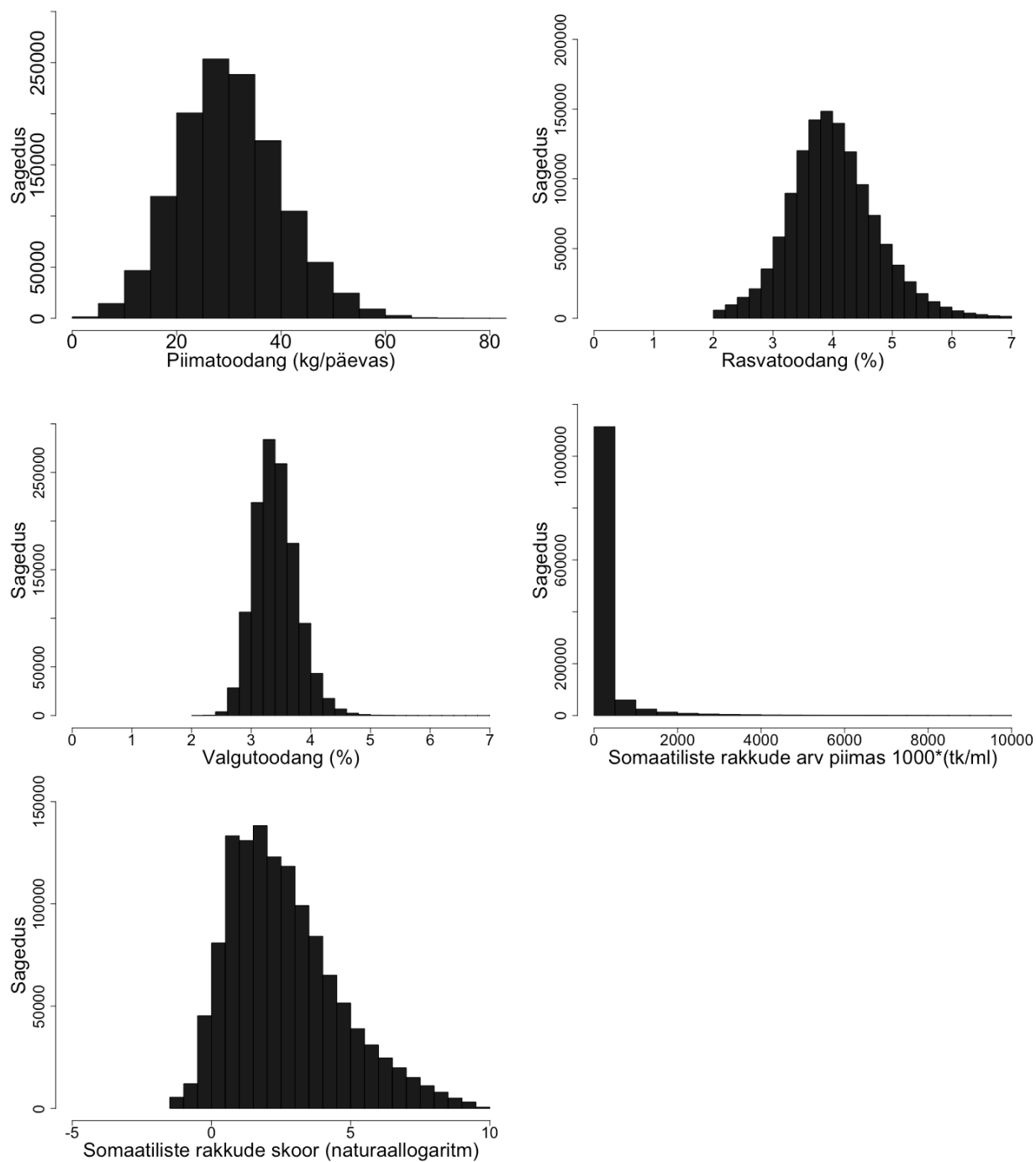
Joonis 4. Keskmised toodangunäitajad laktatsioonikuude kaupa

3.2 Uuritavate tunnuste jaotus

Antud töös on uuritavateks ehk sõltuvateks tunnusteks lehmade päevane piimatoodang, piima rasva- ja valguprotsent ning somaatiliste rakkude arv piimas. Jooniselt 5 on näha, et piima-, rasva- ning valgutoodangu histogrammid on normaaljaotuse tihedusfunktsiooni kujuga ja seega võib arvata, et need tunnused on normaaljaotusega. Somaatiliste rakkude arvu histogramm aga erineb eelnevast kolmest ning kindlasti ei ole tunnus normaaljaotusega – loendusandmetele omaselt on pigem tegu Poissoni jaotusega. Loomakasvatuses on tavaks teisendada somaatiliste rakkude arv piimas somaatiliste rakkude skooriks, mis leitakse järgmise valemiga [7]

$$SCS = \log_2 \left(\frac{SCC}{100} \right) + 3.$$

Jooniselt 5 on ka näha, et soomaatiliste rakkude skoori histogrammi kuju on sarnane normaaljaotuse tihedusfunktsiooni kujule.



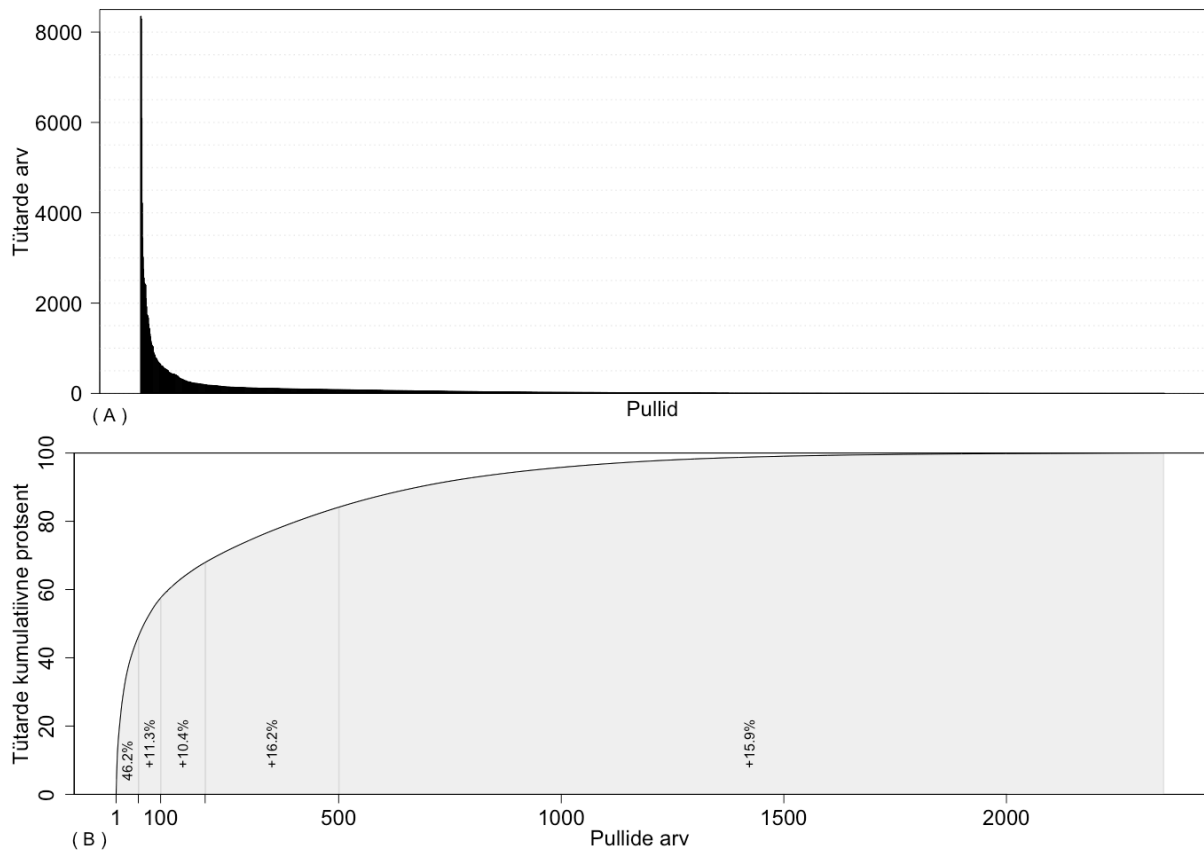
Joonis 5. Piimatoodangu, rasvatoodangu, valgutoodangu, soomaatiliste rakkude arvu ja soomaatiliste rakkude skoori histogrammid

3.3 Piimalehmade arv farmide ja pullide lõikes

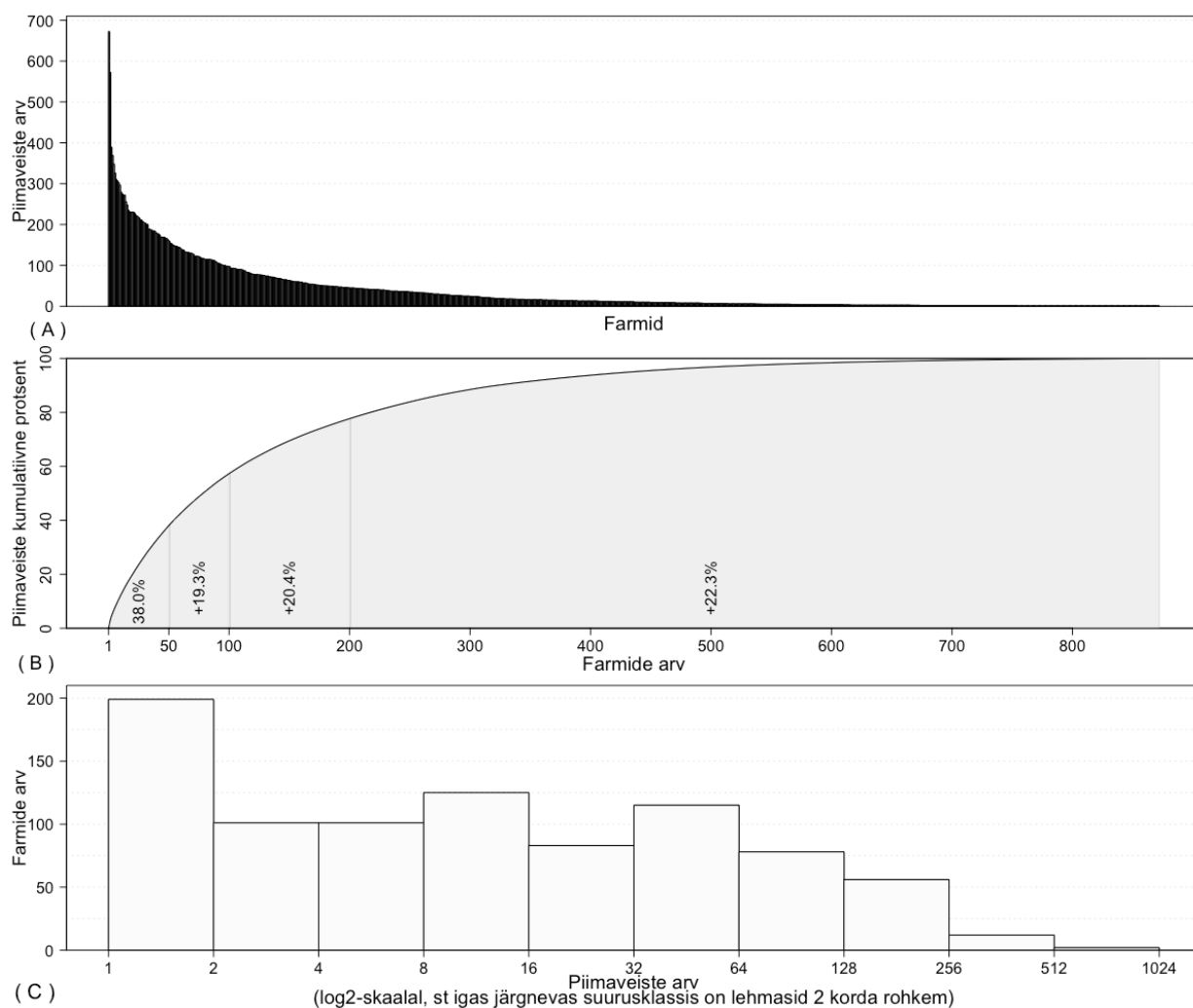
Andmestiku põhjal selgus, et aastatel 2013 kuni 2019 läbi viidud kontroll-lüpsidel mõõdetud piimalehmad on 2353 pulli järglased ning nad on sündinud aastatel 2005-2017. Kuuel pullil on üle 3000 tütre, kusjuures kõige enam kasutatud pullil on lausa 8354 tütart, kes moodustavad 4,4% kõikidest sündinud lehmadest. Üle 1000 tütre on 29 pullil (joonis 6A), kokku moodustavad nende 29 pulli järglased 38,2% kõigist lehmadest. 50 pulli järglased moodustavad tervelt 46,2% ning 100 enim kasutatud pulli järglased üle poole ehk 57,5% kõikidest lehmadest (joonis 6B).

Kontroll-lüpside andmeid on 872 farmist, mille seas on nii suured farmid kui ka ainult üksikute isenditega farmid. Siinkohal tuleb ära mainida, et farmi all mõistetakse konkreetse omaniku koodiga tootmisüksust EPJ-i andmebaasis. Keskmise farmi suurus on umbes 37 lehma, kusjuures suurima farmi suuruseks on 672 piimalehma, mis moodustab 2,1% kõikidest lehmadest. Lisaks on veel kaheksa farmi suuruseks üle 300 lehma (joonis 7A).

Aastail 2013-2019 oli kümnes suurimas farmis kokku 3892 lehma, kes moodustavad 12,1% kõikidest lehmadest ning 50 suurimas farmis oli 38,0% kõikidest lehmadest. 100 suurimas farmis oli kokku 18369 lehma, kes moodustavad 57,3% lehmadest ning 200 suurimas farmis 77,7% lehmadest (joonis 7B). Farmide jaotus piimaveiste arvu järgi on esitatud ka joonisel 7C.



Joonis 6. Aastail 2005-2017 sündinud piimaveiste (A) arv ja (B) jaotus isade kaupa



Joonis 7. Piimaveiste (A) arv ja (B) jaotus farmide kaupa ning (C) farmide jaotus piimaveiste arvu järgi aastail 2013-2019

3.4 Kümne enim kasutatud pulli tütrede ja nende toodangunäitajad

Kümne enim kasutatud pulli järglaste seas viidi 2013 kuni 2019 aastal läbi 316035 kontroll-lüpsi, mis moodustavad 25,4% ehk neljandiku kõikidest kontroll-lüpsidest. Tabelis 8 on toodud nende kontroll-lüpside toodangunäitajaid kirjeldavad arvarakteristikud.

Võiks arvata, et kümne enim kasutatud pulli järglaste toodangunäitajad on võrreldes kõikide pullide järglaste toodangunäitajatega märgatavalt paremad, kuid nii see ei ole. Kui võrrelda tabelis 8 toodud näitajaid tabelis 4 olevate näitajatega, siis on näha, et kümne enim kasutatud pulli tütarde keskmine päevane piimatoodang on 0,23 kg võrra madalam, kui sama näitaja, mis on mõõdetud üle kõikide kontroll-lüpside – erinevus on väga väike. Samuti on sarnased rasvaprotsendid, kus vastavad keskmised on 4,00% ja 4,02%. Suurim erinevus on piima valgutoodangus. Kümne enim kasutatud pulli tütarde keskmine valguprotsent üle kõikide laktatsioonide on 4,00%, samas kui kõikide lehmade keskmine piima valguprotsent on 3,42%, mis on 0,58% võrra madalam.

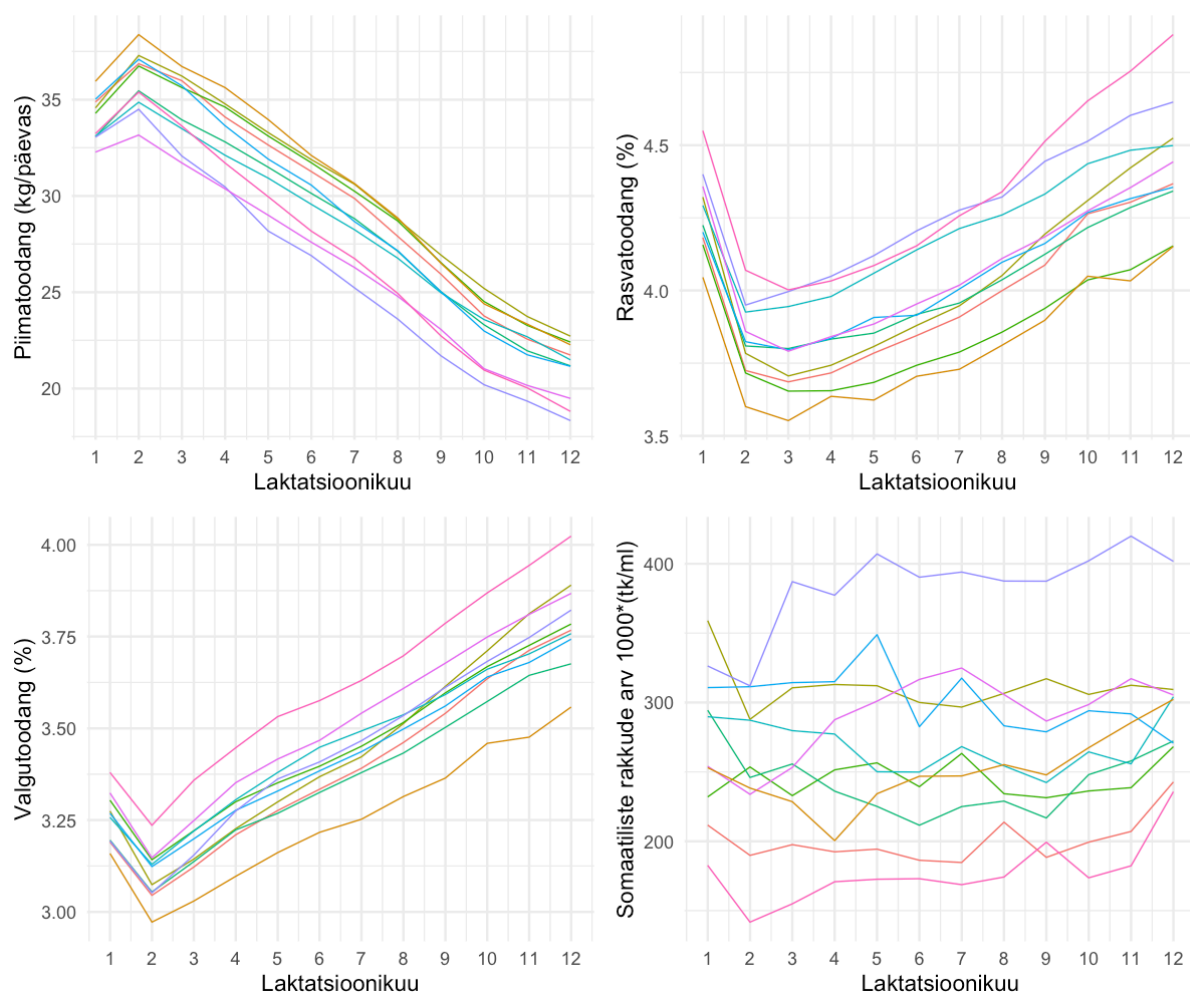
Väike erinevus esineb ka keskmises somaatiliste rakkude arvus, kus kümne enim kasutatud pulli tütarde keskmine somaatiliste rakkude arv 1 ml piimas on 1360 raku võrra madalam, kui kõikide kontroll-lüpside sama näitaja. Samas on kümne enim kasutatud pulli järglaste somaatiliste rakkude arvu standardhälve suurem, mis viitab sellele, et kümne enim kasutatud pulli tütarde seas on somaatiliste rakkude arvu hajuvus suurem, kui sama näitaja üle kõigi kontroll-lüpside.

Tabel 8. Kümne enim kasutatud pulli järglaste päevaste toodangunäitajate arvarakteristikud

Toodangunäitaja	Keskmine	Miinimum	Maksimum	Standardhälve
Piim (kg)	30,05	1,50	79,20	9,74
Rasv (%)	4,00	2,00	7,00	0,74
Valk (%)	4,00	2,03	6,81	0,36
Somaatilised rakud 1000*(tk/l)	259,02	5	9990	724,76

Kümne enim kasutatud pulli tütarde keskmised toodangunäitajad varieeruvad laktatsioonikuudel üksjagu. Esinevad ka pullidevahelised erinevused. Jooniselt 8 on näha, et kõige suuremad pullidevahelised erinevused on rasvatoodangus ja somaatiliste rakkude arvus.

Piimatoodangu ning piima rasva- ja valgusisalduse puhul on erinevate pullide tütarde vahelised erinevused sarnased kogu laktatsiooni vältel – pullid, kelle tütred lüpsavad enam ja/või rasva- või valgurikkamat piima esimesel laktatsioonikuul, on oma järglaste toodangunäitajate poolest tipus ka laktatsiooni keskel ja lõpus. Seega ei esine vähemalt kümne enam kasutatud pulli tütarde puhul selgeid erinevusi toodangunäitajate laktatsioonisisiseses dünaamikas. Seevastu somaatiliste rakkude arvu kõverad käituvad iga pulli puhul kogu laktatsiooniperioodi vältel erinevalt ehk kindlat seaduspära ei saa välja tuua. Siiski on jooniselt 8 näha, et hoolimata suhteliselt suurest kõikumisest leidub pulle, kelle tütarde keskmine piima somaatiliste rakkude arv on madalam kogu laktatsiooni jooksul, nagu leidub ka pull, kelle tütarde keskmine piima somaatiliste rakkude arv on alates kolmandast laktatsioonikuust selgelt kõrgem kui teiste pullide tütardel.



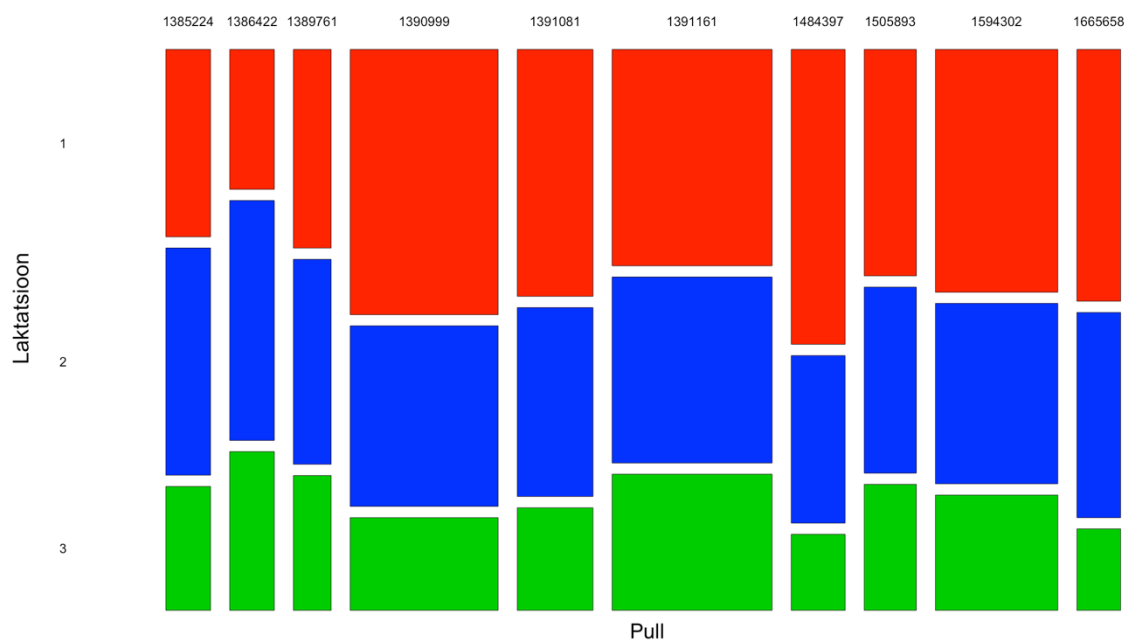
Joonis 8. Kümne enim kasutatud pulli tütarde keskmised toodangunäitajad laktatsioonikuude kaupa

Joonisel 9 on toodud kümne enim kasutatud pulli tütarde kontroll-lüpside jaotus pulli ja laktatsiooni kaupa. Selgub, et enamikel pullidel on tütarde kontroll-lüpside jaotus laktatsioonide kaupa enam-vähem sarnane, kuid pulli 1386422 tütarde esimese laktatsiooni kontroll-lüpside osakaal on väiksem ja teise ja kolmanda laktatsiooni kontroll-lüpside osakaal suurem kui teistel pullide tütarde kontroll-lüpside samad osakaalud. Pulli 1484397 tütarde esimese laktatsiooni kontroll-lüpside osakaal kõikidest tema tütarde kontroll-lüpsides on aga suurem kui teiste pullide tütarde esimese laktatsiooni kontroll-lüpside osakaalud.

Laktatsioon on aga tihedalt seotud lüpsitud piimakogusega – esimese laktatsiooni piimatoodang on üldjuhul madalam kui teise või kolmanda laktatsiooni piimatoodang. Seega võiks arvata, et kui piimatoodang sõltuks üksnes lehma vanusest, siis peaks pulli 1386422 tütarde piimatoodang olema kõrgem ja pulli 1484397 tütarde piimatoodang madalam kui teiste pullide tütarde piimatoodang.

Joonisel 8 märgib pulli 1386422 tütarde piimatoodangut sinine kõver, mis asub küll mitmete teiste pullide tütarde piimatoodangukõveratest kõrgemal, kuid antud pulli tütarde piimatoodang ei ole siiski teistega võrreldes märgatavalt suurem. Pulli 1484397 tütarde piimatoodangukõver on joonisel 8 rohekassinine (türkiisne) ehk ka siinjuhul ei ole antud pulli tütarde piimatoodang märgatavalt madalam, võrreldes teiste pullide tütarde sama näitajaga.

Samas pulli 1386422 tütarde somaatiliste rakkude arvu kõver asub kõrgemal kui paljude teiste pullide tütarde somaatiliste rakkude arvu kõverad. Kõrge somaatiliste rakkude arv aga peegeldab lehmadel udarahaiguste esinemist, mis omakorda mõjutab lehmade piimatoodangut. See võib olla ka üks põhjustest, miks pulli 1386422 tütarde piimatoodang ei ole kõrgem, kui teiste pullide tütarde piimatoodangud.



Joonis 9. Kümne enim kasutatud pulli tütarde kontroll-lüpside jaotus laktatsioonide kaupa

4 Toodangunäitajate analüüs üldise lineaarse segamudeliga

4.1 Toodangunäitajatele rakendatud mudeli kuju

Analüüsi käigus koostati neli lineaarset juhuslike faktoritega mudelit, mille eesmärk oli hinnata, kas ja milline on pulli ja farmi mõju ning pulli ja farmi koosmõju lehmade piimajõudlusele. Teisisõnu uuriti genotüübi ja keskkonna mõju ning nende koosmõju piimalehmade peamistele toodangunäitajatele. Kuna erinevate pullide tütarde vanuseline jaotus ei ole päris ühesugune (vaata joonis 9) ja ilmselt ei ole samasugune lehmade vanuseline jaotus ka erinevates farmides, siis võimaldab lineaarsete mudelite kasutamine saada objektiivsemaid andmete mittetasakaalulisuse suhtes korrigeeritud tulemusi. Lisaks võimaldavad lineaarsed mudelid arvesse võtta ka seda, et lehmad on poeginud erinevatel kuudel ja aastatel, mis tänu erinevatele söödakvaliteedist ja kliimatilistest oludest tingitud teguritele võivad samuti toodangunäitajaid mõjutada.

Kõigile neljale toodangunäitajale – piimatoodang, piima rasva- ja valgusisaldus ning somaatiliste rakkude skoor – hinnati mudel kujul

$$\begin{aligned} E(y_{ijklmn}) = & \mu + b1*LP_{ijklmn} + b2*(LP_{ijklmn})^2 + b3*(LP_{ijklmn})^3 + b4*(LP_{ijklmn})^4 + \\ & + L_i + b1_i*LP_{ijklmn} + b2_i*(LP_{ijklmn})^2 + b3_i*(LP_{ijklmn})^3 + b4_i*(LP_{ijklmn})^4 + \\ & + PKuu_j + PAasta_k + Pull_l + Farm_m + Pull_l*Farm_m. \end{aligned}$$

Selles mudelis

y_{ijklmn} on andmebaasi n . reas paiknev kontroll-lüpsi tulemus, mis on mõõdetud l . pulli järglasel farmis m tema i . laktatsioonil peale poegimist aastal k ja kuul j ;

μ on mudeli vabaliige;

LP_{ijklmn} on konkreetse kontroll-lüpsi lüpsipäev ehk laktatsioonipäev;

$b1, b2, b3$ ja $b4$ on laktatsioonipäeva neljandat järku polünoomi kordajad;

L_i on i . laktatsiooni mõju ($i = 1, 2, 3$);

$b1_i, b2_i, b3_i$ ja $b4_i$ on laktatsioonipäeva neljandat järku polünoomi kordajad i . laktatsioonile vastava laktatsioonikõvera jaoks;

$PKuu_j$ ja $PAasta_k$ on vastavalt j . poegimiskuu ja k . poegimisaasta mõjud, $j = 1, \dots, 12$, $k = 1, \dots, 8$;

$Pull_l$ on pulli l juhuslik efekt, $Pull_l \sim N(0, \sigma_{Pull}^2)$, $l = 1, \dots, 2353$;

$Farm_m$ on farmi m juhuslik efekt, $Farm_m \sim N(0, \sigma_{Farm}^2)$, $m = 1, \dots, 872$;

$Pull_l*Farm_m$ on pulli l ja farmi m juhuslik koosmõju, $Pull_l*Farm_m \sim N(0, \sigma_{Pull*Farm}^2)$.

Vastavalt konstrueeritud mudelile avaldub mõõtmistulemuste dispersioon σ_y^2 nelja dispersioonikomponendi summana:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{Pull}^2 + \sigma_{Farm}^2 + \sigma_{Pull*Farm}^2 + \sigma_{Jääk}^2,$$

kus σ_{Pull}^2 , σ_{Farm}^2 ja $\sigma_{Pull*Farm}^2$ mõõdavad vastavalt pulli, farmi ning pulli ja farmi koosmõjust tingitud varieeruvust ja $\sigma_{Jääk}^2$ on mudeli jääkvarieeruvus. Nende dispersioonikomponentide suhetena kogudispersiooni leiti erinevate mõjutegurite suhteline olulisus.

Kuigi samadel loomadel oli enamasti teostatud mitmeid kontroll-lüpsse, ei kaasatud looma mõju mudelisse. Põhjuseks oli see, et ühelt poolt hõlmab looma mõju söötmis- ja pidamistingimuste ehk üldisemalt farmi efekti (sama looma on mõõdetud samas farmis), teiselt poolt aga kirjeldab looma mõju ära isalt pärandunud geenide mõju. Seetõttu ei ole looma mõju juhusliku faktorina mudelisse kaasamisel enam võimalik hinnata antud uuringus huvi pakkunud isa ja farmi mõju ning nende koosmõju.

Mudelite parameetrid hinnati R-i paketi 'lme4' sisalduva funktsiooniga lmer(), juhuslikud efektid leiti funktsiooniga ranef() ning oodatavad laktatsioonikõverad hinnati paketi 'emmeans' sisalduva funktsiooniga emmeans() (vaata lisa 2).

4.2 Laktatsiooni, poegimiskuu ja poegimisaasta mõju toodangunäitajatele

Tänu andmete suurele hulgale osutusid kõigi mudelisse kaasatud fikseeritud faktorite mõjud kõigi analüüsitud piimatoodangu- ja -kvaliteedinäitajate korral statistiliselt oluliseks (kõik $p < 0,001$; vaata lisa 3).

Mudeli põhjal selgub, et laktatsioon mõjutab piimatoodangut. Piimatoodang on kolmandal laktatsioonil 3,9 kg võrra kõrgem kui esimesel ning 0,5 kg võrra kõrgem kui teisel laktatsioonil. Piimatoodangut mõjutavad ka poegimiskuu ning poegimisaasta. Päevane piimatoodang on kõrgem lehmadel, kes poegivad oktoobris, novembris või detsembris ning kelle poegimisaasta on hilisem. Näiteks 2019. aastal poeginud lehmade päevane piimatoodang on hinnanguliselt 3,5 kg võrra suurem, kui aastal 2012 poeginud lehmade sama näitaja.

Poegimiskuu ja poegimisaasta mõju piima rasva- ja valgusisaldusele on üsna sarnane, ainult vastupidise märgiga. Lehmade piima rasva- ja valgusisaldus on madalam, kui nad poegivad oktoobris, novembris, detsembris või jaanuaris ning kõrgem, kui poegimine toimub juulis või

augustis. Muude tingimuste samaks jäädes erineb piima rasvasisalduselt enim jaanuaris ja augustist poeginud lehmade toodang – hinnanguline erinevus on 0,03%. Piima valgusisalduse puhul erineb enim detsembris ja jaanuaris poeginud lehmade toodang, mil erinevus on ligi 0,02%.

Mudelite põhjal selgub ka, et laktatsioon mõjutab piima rasva- ja valgusisaldust pisut erinevalt. Piima valgusisaldus on teisel laktatsioonil 0,02% võrra kõrgem kui esimesel ja 0,01% võrra kõrgem kui kolmandal laktatsioonil, kuid piima rasvasisaldus on kõrgeim kolmandal laktatsioonil – 0,07% võrra võrreldes esimese laktatsiooniga ja 0,03% võrra võrreldes teise laktatsiooniga.

Somaatiliste rakkude skoori mudelist selgub, et kõrgem somaatiliste rakkude skoor on nendel lehmadel, kes poegivad mais ja juunis ning kelle poegimisaastaks on 2012. Samuti selgub, et kui esimesel laktatsioonil on hinnanguline somaatiliste rakkude skoor 2,61 punkti, siis teisel laktatsioonil juba 3,02 ning kolmandal laktatsioonil 3,39 punkti.

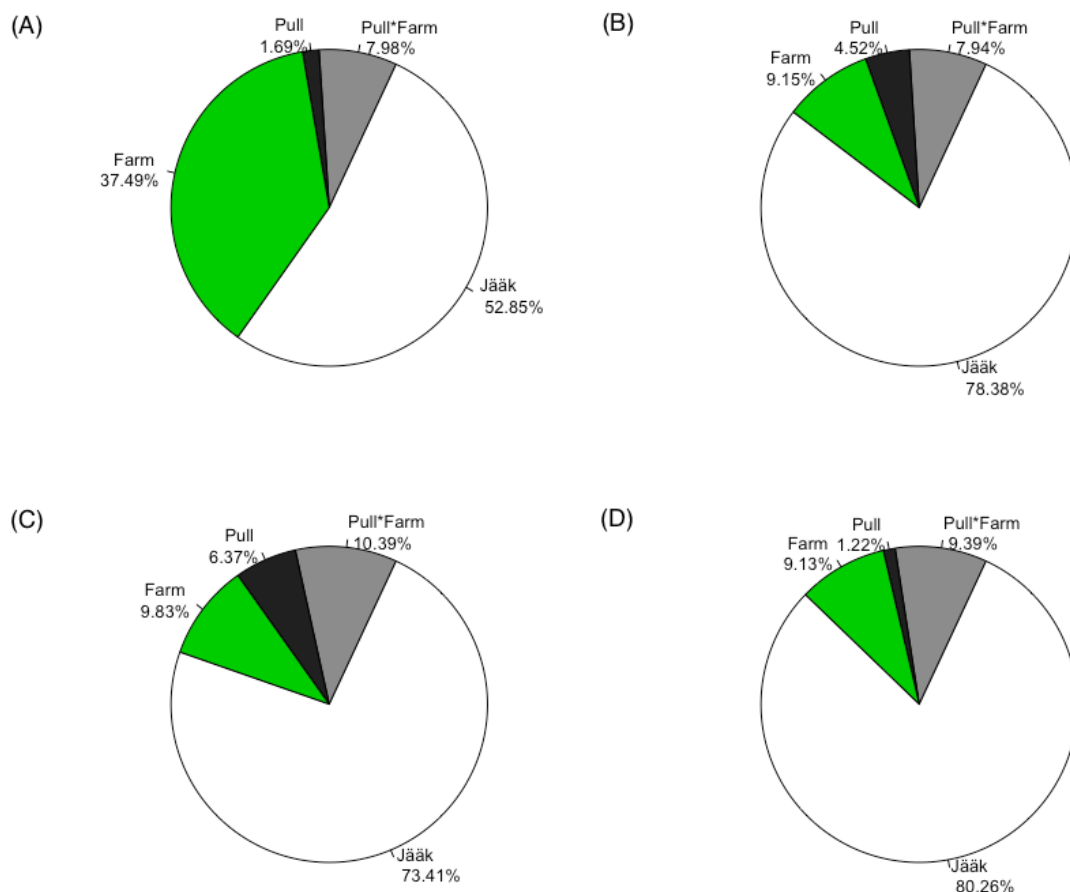
4.3 Farmi ja pulli ning nende interaktsiooni mõju lehmade piimajõudlusele

Joonisel 10 on toodud kõigi piimajõudlus- ja -kvaliteedinäitajate varieeruvus jagatuna osadeks seda põhjustavate faktorite alusel. Piimatoodangul on suurima osakaaluga mõjufaktoriks farm (37,49%), mis võrreldes pulli mõju või pulli ja farmi koosmõju osakaaluga on märgatavalt suurem. Piimatoodangu korral on väikseima osakaaluga mõjufaktoriks pulli mõju, mis on vaid 1,69%.

Piima rasvasisalduse korral on mõjufaktorite osakaalud võrdsemad. Suurima osakaaluga mõjufaktoriks on taaskord farm (9,15%), kuid pulli ja farmi koosmõju on sellest vaid 1,21% võrra madalam ehk 7,94%. Madalaima osakaaluga (4,52%) mõjufaktor on pull.

Piima valgusisalduse ja somaatiliste rakkude skoori korral on farmi mõju ning farmi ja pulli koosmõju sarnaste osakaaludega. Valgutoodangul on nende mõjufaktorite osakaalud vastavalt 9,89% ja 10,39% ning somaatiliste rakkude skooril 9,13% ja 9,39%. Mõlemal toodangunäitajal on madalaima osakaaluga mõjufaktoriks taaskord pull, kuid valgutoodangule on pulli mõju suurem kui somaatiliste rakkude skoorile. Valgutoodangu korral on pulli mõju osakaal 6,37% ning somaatiliste rakkude skoori korral vaid 1,22%.

Seega on pulli mõju suurim valgutoodangule, jäädes 6,4% kanti. Siiski saab öelda, et pulli mõju ilma farmi mõju arvestamata on kõikidele toodangunäitajatele üsnagi tagasihoidlik. Võrreldes teiste toodangunäitajatega, on farmi ehk keskkonna mõju piimatoodangule tunduvamalt suurem. See tähendab seda, et piimatoodangu kõikumine on suuresti põhjustatud farmis olevatest söötmis- ja pidamistingimustest. Pulli ja farmi koosmõju on kõikidele toodangunäitajatele enam-vähem sama suur, varieerudes 8-10% ümber. See viimane tulemus näitab, et pulli kui geneetilise faktori mõju sõltub suuresti lehmade söötmis- ja pidamistingimustest ehk eksisteerib küllaltki tugev keskkonna ja genotüübi interaktsioon.

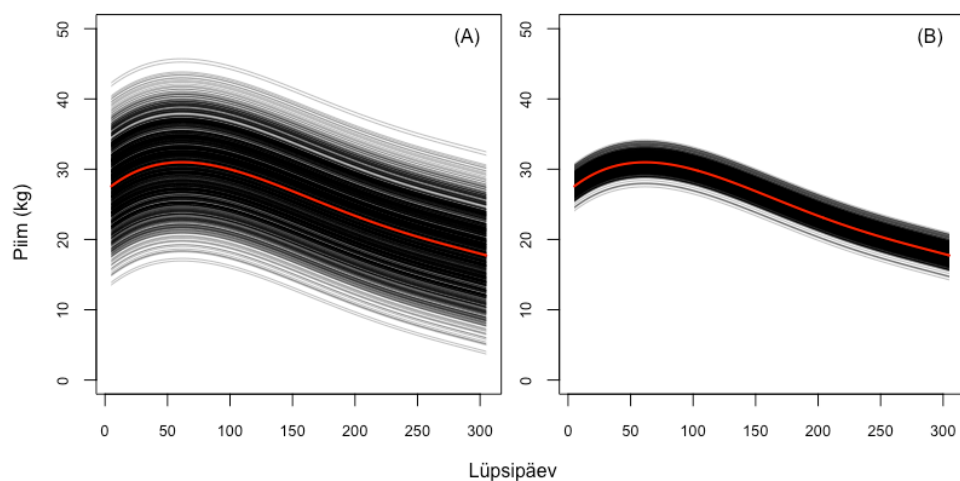


Joonis 10. Juhuslike faktorite mõju osakaal lehmade (A) piimatoodangule, (B) rasvatoodangule, (C) valgutoodangule ja (D) somaatiliste rakkude skoorile

4.4 Farmide ja pullide vaheline erinevus mudelist hinnatuna

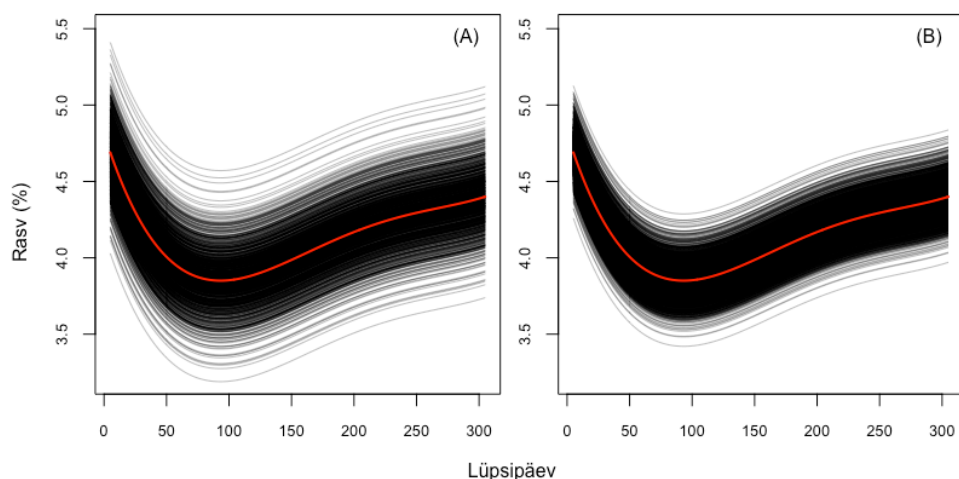
Joonisel 11 on toodud mudelist hinnatud päevane piimatoodang farmide kaupa ja pullide kaupa. Joonise põhjal selgub, et päevase piimatoodangu puhul mängib suuremat rolli farm kui pull. Seega on söötmis- ja pidamistingimused märksa suurema tähtsusega kui lehma geneetiline potentsiaal.

Jooniselt on näha, et väga soodsate tingimustega farmis võib päevane piimatoodang, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise päevase piimatoodanguga, olla üle 10 kg rohkem, mis laktatsiooni peale võib teha enam kui 3000-kilogrammise erinevuse. Seevastu heade geenidega pullide tütred võivad päevas lüpsta vaid 2-3 kg rohkem, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise päevase piimatoodanguga.



Joonis 11. Mudelist hinnatud päevane piimatoodang (A) farmide kaupa ja (B) pullide kaupa; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.

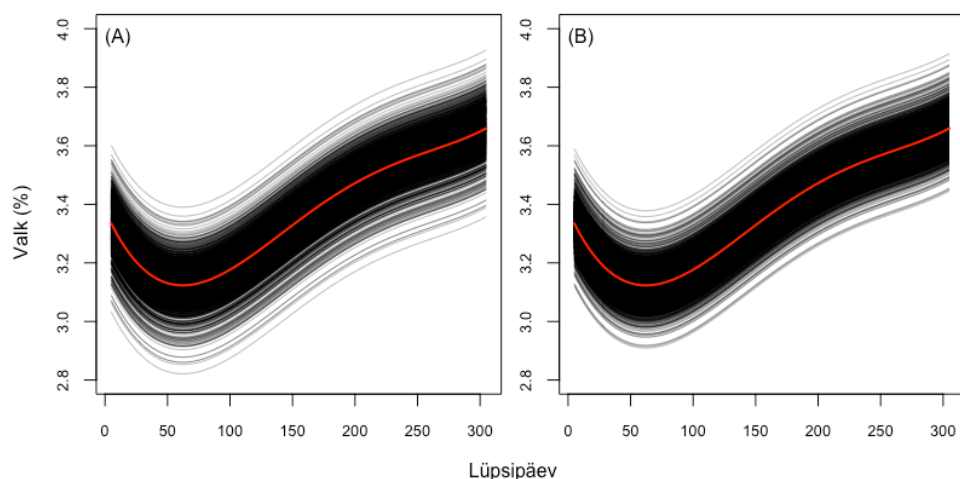
Joonisel 12 on näha mudelist hinnatud päevast piima rasvasisaldust farmide ning pullide kaupa. Rasvatoodangul mängib samuti suuremat rolli farm kui pull. Samas pole farmi ja pulli mõjud nii erineva kaaluga, kui piimatoodangul. Heade tingimustega farmis võib lehma piima rasvasisaldus olla umbes 0,5-0,6% võrra kõrgem kui kõigi lehmade hinnanguline piima rasvasisaldus. Heade geenidega pulli tütarde piima rasvasisaldus, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise päevase rasvatoodanguga, võib aga olla umbes 0,2-0,3% võrra kõrgem.



Joonis 12. Mudelist hinnatud päevane piima rasvasisaldus (A) farmide kaupa ja (B) pullide kaupa; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.

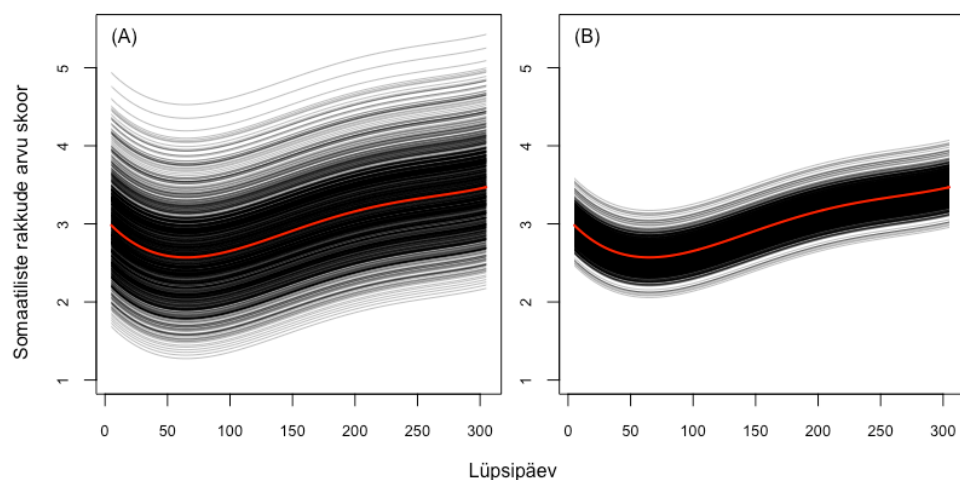
Mudelist hinnatud päevane piima valgusisaldus farmide ja pullide kaupa on toodud joonisel 13. Jooniselt selgub, et rasvatoodangul mängib natukene suuremat rolli farm kui pull, kuid rollide suuruse erinevus on suhteliselt väike. Heade söötmis- ja pidamistingimustega farmis võib lehmade päevane valgutoodang olla umbes 0,2% võrra kõrgem kui kõigi lehmade hinnanguline päevane valgutoodang. Kui võrrelda üliheade tingimustega farmi halbade tingimustega farmiga, siis lehmade päevane valgutoodang võib erineda ligi 0,5% võrra.

Heade geenidega pullide tütarde piima valgusisaldus, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise piima valgusisaldusega, võib olla umbes 0,2% võrra kõrgem ning heade ja halbade geenidega pulli tütarde piima valgusisaldus võib erineda kuni 0,45%. Seega mängivad valgutoodangu korral farm ja pull üsnagi sarnase suurusega rolli.



Joonis 13. Mudelist hinnatud päevane piima valgusisaldus (A) farmide kaupa ja (B) pullide kaupa; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.

Joonise 14 põhjal selgub, et somaatiliste rakkude skoori puhul mängib tunduvamalt suuremat rolli farm kui pull ehk taaskord mõjutavad toodangunäitajat söötmis- ja pidamistingimused rohkem kui geneetiline komponent. Heade tingimustega farmis võib lehmade somaatiliste rakkude skoor olla üle 1 punkti võrra madalam ning halbade tingimustega farmis lausa kuni 2 punkti võrra kõrgem kui kõikide lehmade hinnanguline näitaja. Heade geenidega pulli tütarde ja halbade geenidega pulli tütarde somaatiliste rakkude skoorid võivad omavahel erineda 0,8-1 punkti võrra.



Joonis 14. Mudelist hinnatud somaatiliste rakkude skoor (A) farmide kaupa ja (B) pullide kaupa; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist näitajat.

Seega selgub, et nii somaatiliste rakkude skoori kui ka päevase piimatoodangu puhul mängib suuremat rolli eelkõige farm ehk teisisõnu söötmis- ja pidamistingimused. Piima rasva- ja valgusisalduse puhul on nii farmide kui ka pullide vahelised erinevused enam-vähem samasse suurusjärku.

4.5 Farmi mõju kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangule

Elmistes alapeatükkides selgus, et nii piima rasva- kui ka valgusisalduse, aga eelkõige piima toodangu ja somaatiliste rakkude skoori puhul, mängib pullist (ehk isalt pärandunud geenidest) suuremat rolli keskkond ehk farm, kus lehm elab. Selle alapeatüki eesmärk on täpsemalt uurida pulli ja farmi ehk genotüübi ja keskkonna koosmõju, võttes vaatluse alla kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangunäitajad erinevates farmides. Joonistel 15, 16, 17 ja 18 on toodud mudelitest hinnatud kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangunäitajad sajas farmis, kus konkreetse pulli tütreid oli enim.

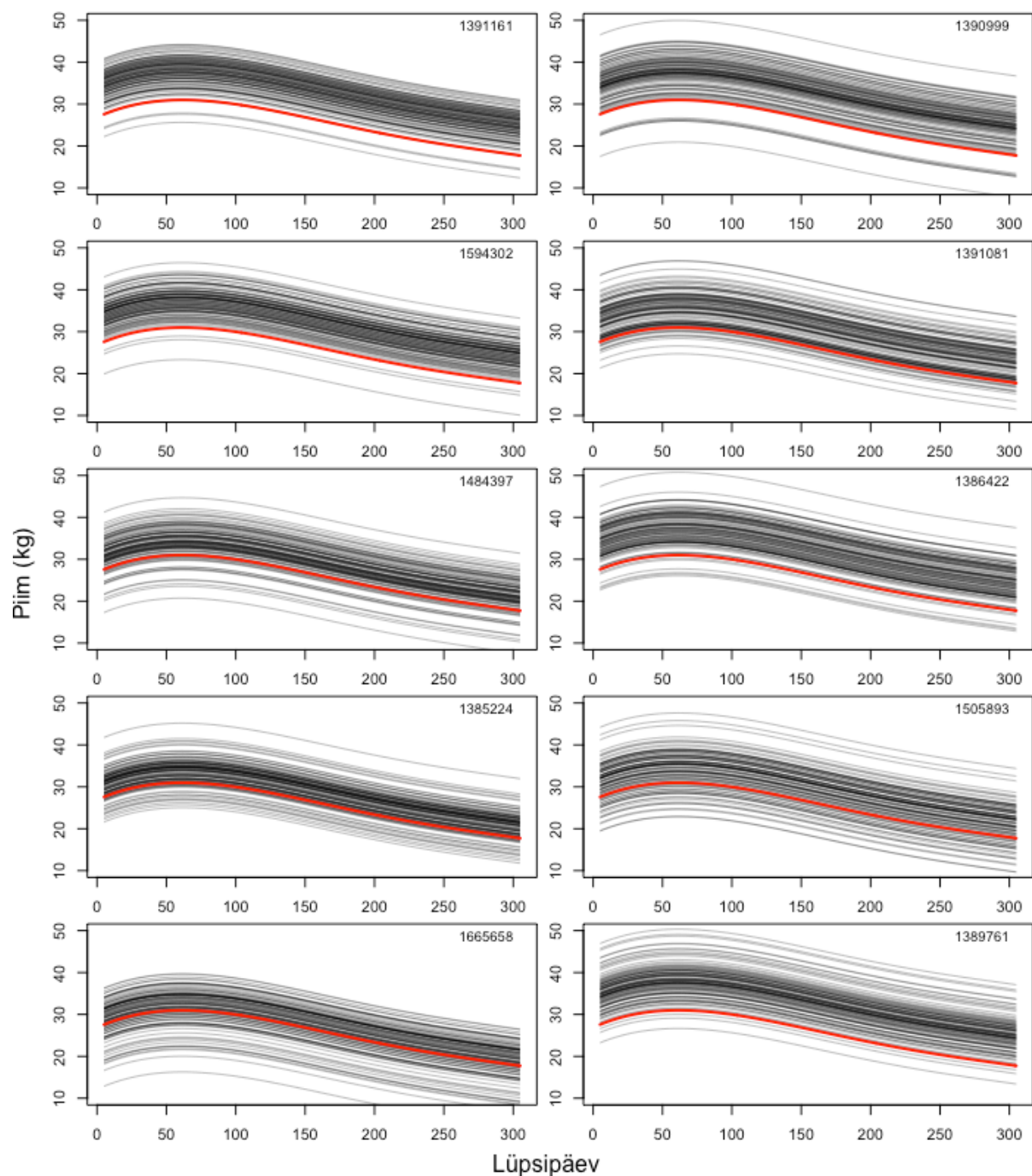
Jooniselt 15 on näha, et sama pulli tütarde päevane piimatoodang erinevates farmides on erinev. Päevane piimatoodang võib erinevates farmides kõikuda 15 kg jagu ning mõningatel juhtudel isegi enam. Terve laktatsiooni peale võib see juba teha enam kui 4500-kilogrammise erinevuse. Jooniselt 15 on näha ka see, et kümne enim kasutatud pulli on oma tütardele pärandanud võime lüpsata keskmisest enam piima ning need tütreid asuvad üldjuhul ka keskmisest paremate söötmis- ja pidamistingimustega farmides, sest kõikide lehmade hinnangulise päevase piimatoodangu kõver asub enamikel juhtudel madalamal, kui konkreetsete pullide tütarde päevaste toodangute kõverad kindlates farmides.

Joonistelt 16 ja 17 selgub, et ka päevaste piima rasva- ja valgusisalduste puhul on sama pulli tütarde toodang erinevates farmides erinev. Piima rasvasisaldus võib erinevates farmides kõikuda 0,8-1% jagu ning valgusisaldus umbes 0,4% jagu.

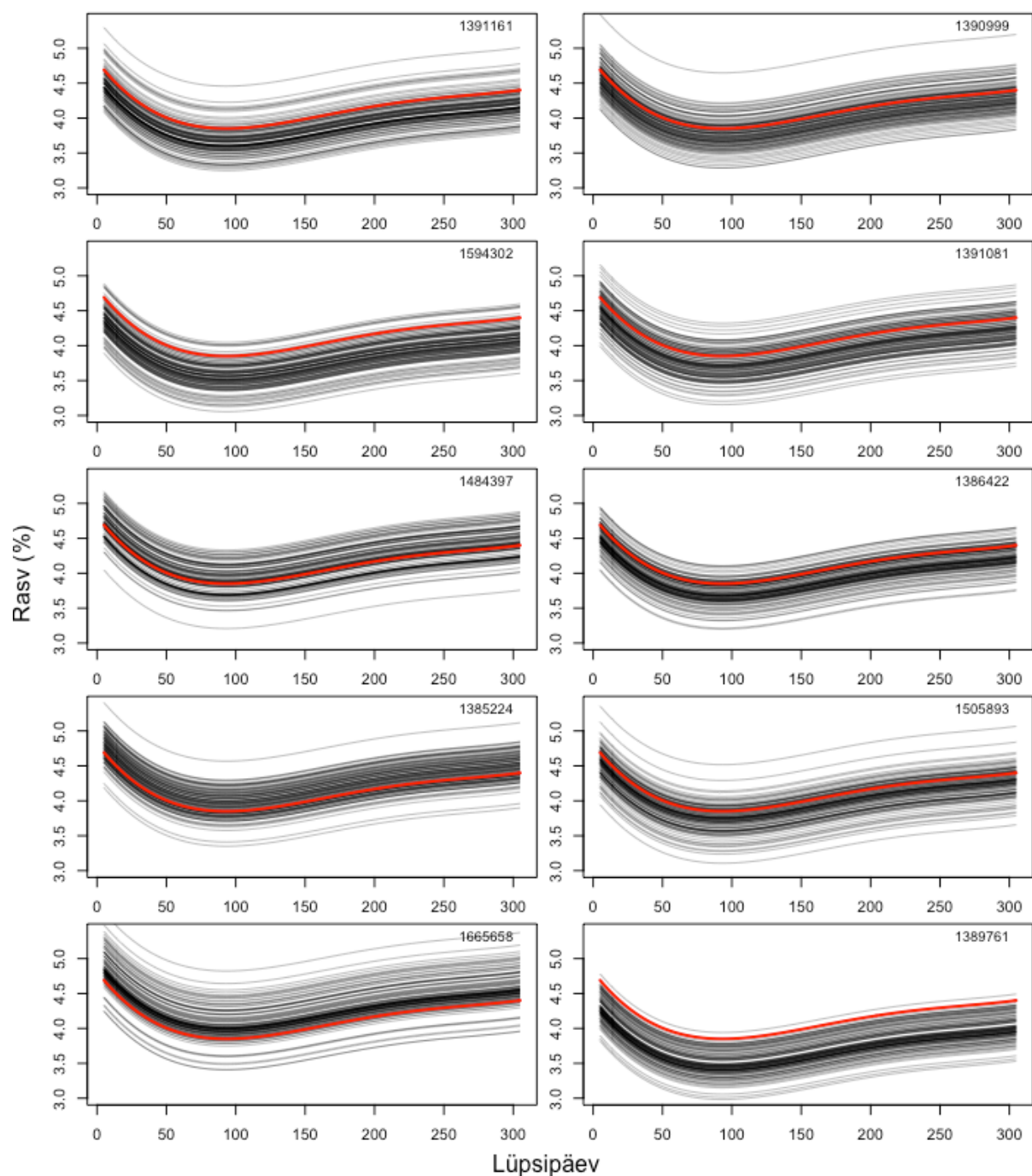
Jooniselt 18 selgub, et sarnaselt teiste toodangunäitajatega varieerub ka sama pulli tütarde somaatiliste rakkude skoor erinevates farmides üksjagu. Sama pulli tütarde somaatiliste rakkude skoor võib erinevates farmides erineda 2 punkti jagu või isegi enam.

Kokkuvõttes võib jooniste 15, 16, 17 ja 18 põhjal väita, et kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangunäitajad on erinevates farmides erinevad ehk pulli mõju sõltub farmi mõjust. See tähendab, et heade geenide avaldumiseks on vaja ka sobivaid söötmis- ja pidamistingimusi.

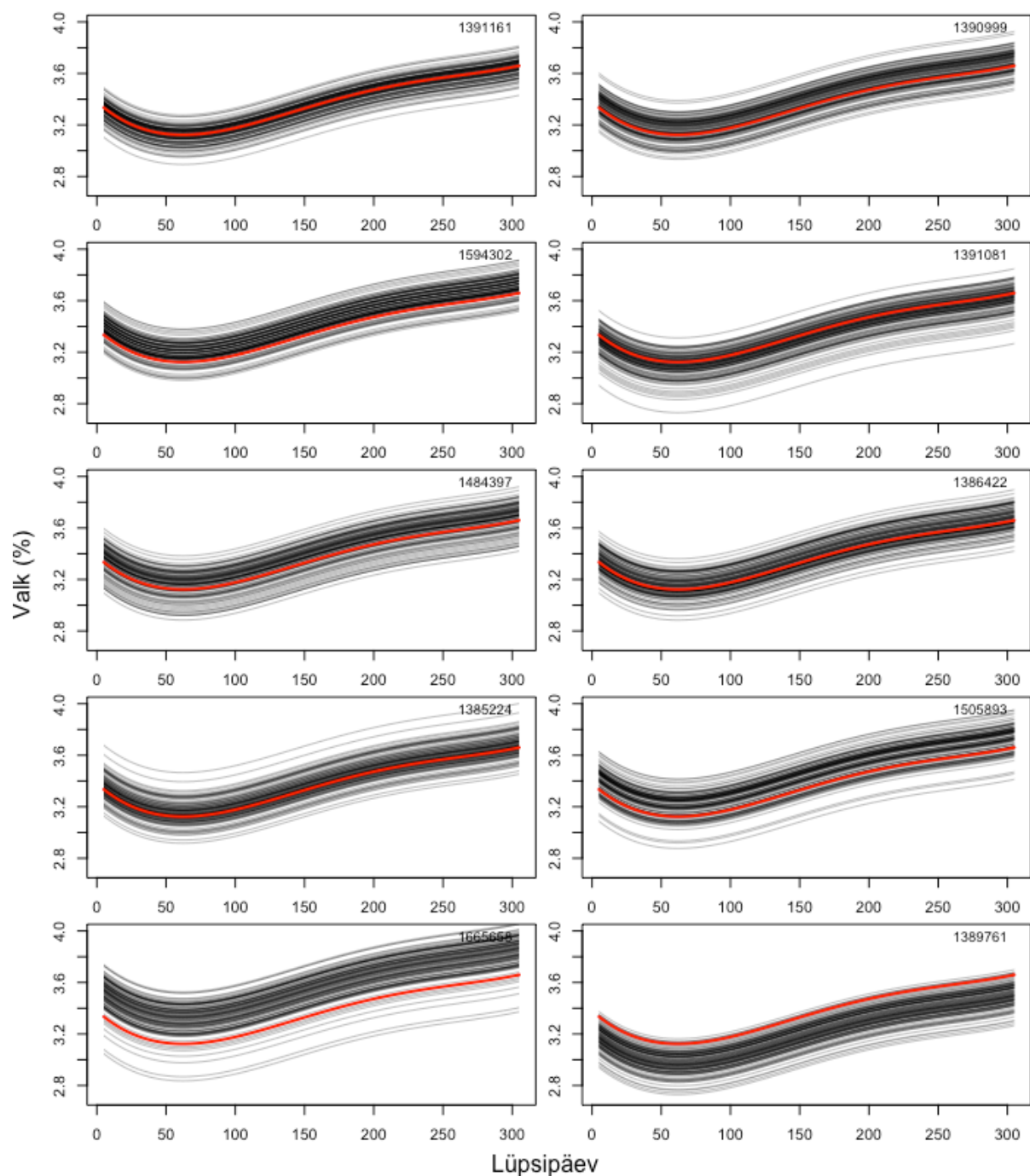
Siiski on sama pulli tütarde piima rasva- ja valgusisaldused erinevates farmides pisut enam kontsentreerunud samasse piirkonda, võrreldes piimatoodangu ja somaatiliste rakkude skooriga. See tulemus viitab, et piima rasva- ja valgusisalduse puhul mängivad isalt pärandunud geenid suuremat rolli, samas kui piimatoodang ja eriti somaatiliste rakkude arv sõltuvad palju konkreetsest farmist. Lisaks võib nende jooniste põhjal väita, et kümne enim kasutatud pulli tütrede on nii lüpstava piimakoguse kui ka piima somaatiliste rakkude arvu poolest pigem keskmisest paremad ja paiknevad pigem keskmisest paremate söötmis- ja pidamistingimustega farmides. See viitab kaudselt ka rakendatud valikukriteeriumitele – just suurtes kaasaegsetes stabiilselt heade söötmis- ja pidamistingimustega farmides valitakse pulle selle järgi, et nad pärandaksid järglastele võimalikult kõrge toodanguvõime ning madala udarahaiguste riski.



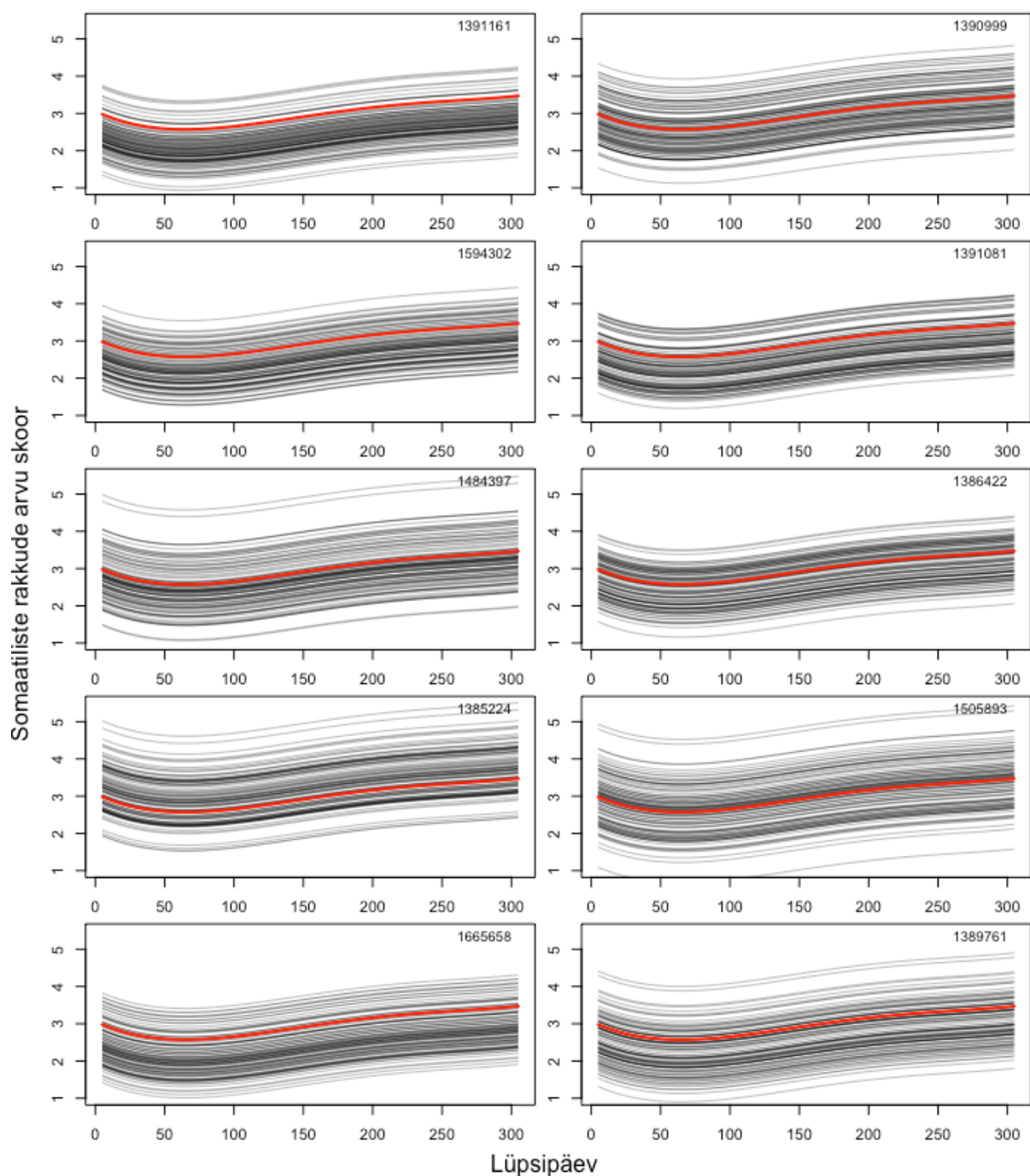
Joonis 15. Mudelist hinnatud päevane piimatoodang kümne enim kasutatud pulli tütardeel sajas farmis, kus konkreetse pulli tütreid oli enim. Igale pullile vastab üks alamjoonis, pulli number on toodud joonise ülemises paremas nurgas, üks hall joon vastab tütarde oodatavale toodangule ühes konkreetses farmis; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.



Joonis 16. Mudelist hinnatud päevane piima rasvasisaldus kümne enim kasutatud pulli tütardele sajas farmis, kus konkreetse pulli tütreid oli enim. Igale pullile vastab üks alamjoonis, pulli number on toodud joonise ülemises paremas nurgas, üks hall joon vastab tütarde oodatavale toodangule ühes konkreetses farmis; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.



Joonis 17. Mudelist hinnatud päevane piima valgusisaldus kümne enim kasutatud pulli tütardele sajas farmis, kus konkreetse pulli tütreid oli enim. Igale pullile vastab üks alamjoonis, pulli number on toodud joonise ülemises paremas nurgas, üks hall joon vastab tütarde oodatavale toodangule ühes konkreetses farmis; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist toodangut.



Joonis 18. Mudelist hinnatud somaatiliste rakkude skoor kümne enim kasutatud pulli tütardele sajas farmis, kus konkreetse pulli tütreid oli enim. Igale pullile vastab üks alamjoonis, pulli number on toodud joonise ülemises paremas nurgas, üks hall joon vastab tütarde oodatavale somaatiliste rakkude skoorile ühes konkreetses farmis; punane joon märgib kõigi lehmade hinnangulist näitajat.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli välja selgitada pullide kasutamise intensiivsus Eesti piimaveisekarjades viimastel aastatel. Samuti oli eesmärgiks uurida, kui suurt rolli mängib lehmade piimatoodangus ja -kvaliteedis isa, kui suurt osa farm ning kas sama pulli järglased on erinevates farmides erineva tootlikkusega. Uuriti isa ja farmi mõju piimatoodangule, piima rasva- ja valgusisaldusele ning soomaatiliste rakkude arvule.

Töös analüüsitud andmestikus olid 1245133 kontroll-lüpsi andmed, mis olid tehtud aastatel 2013-2019. Kontroll-lüpsid olid võetud 172338 lehmalt, kes olid 2353 pulli tütred ning elasid 872 farmis üle Eesti. Suurima tütarde arvuga pullil oli 8354 tütart, kes moodustasid 4,4% kõikides uuringus olnud lehmadest. Saja enim kasutatud pulli järglased moodustasid üle poole (57,5%) kõikide pullide tütardest. Leidus ka pulle, kellel oli ainult üks tütar. Samuti olid ka farmid väga erineva suurusega. Suurimas farmis oli ühel ajahetkel lüpsil hinnanguliselt 672 lehma, kes moodustasid 2,1% kõikidest lehmadest, kusjuures keskmine farmi suurus antud andmestikus oli 37 lüpsilehma.

Analüüsi tulemusena selgus, et nii piimatoodangule, piima rasva- ja valgusisaldusele kui ka soomaatiliste rakkude skoorile on farmi mõju suurem kui isa mõju. Samuti selgus, et isa mõju on ilma farmi mõju arvestamata kõikidele toodangunäitajatele üsnagi tagasihoidlik. Farmi ehk keskkonna mõju on suurim piimatoodangule, mis tähendab, et piimatoodangu kõikumine on suuresti seotud farmis olevate söötmis- ja pidamistingimustega. Pulli ja farmi koosmõju kõigi toodangu ja kvaliteedinäitajate puhul jäi 8-10% ümber, mis näitab, et eksisteerib küllaltki tugev keskkonna ja genotüübi interaktsioon.

Kõigile toodangunäitajatele hinnati mudelist farmide ja pullide vahelised erinevused. Piimatoodangul ja soomaatiliste rakkude arvul mängib märgatavalt suuremat rolli farm kui pull. Väga heade söötmis ja pidamistingimustega farmis võib lehma päevane piimatoodang, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise päevase piimatoodanguga, olla üle 10 kg rohkem ning soomaatiliste rakkude skoor, võrreldes kõigi lehmade hinnangulise soomaatiliste rakkude skooriga, üle 1 palli madalam. Piima rasva- ja valgusisaldusel mängib samuti suuremat rolli farm, kuid isalt pärandunud geenide roll on peaaegu sama suur.

Analüüsiti ka farmi mõju kümne enim kasutatud pulli tütarde toodangunäitajatele. Selgus, et ühe ja sama pulli tütarde toodangunäitajad erinevates farmides on erinevad. Piima rasva- ja

valgusisalduse puhul mängivad isalt pärandunud geenid suuremat rolli, ehk sama pulli tütarde toodangunäitajad erinevates farmides olid suhteliselt sarnased, samas kui piimatoodang ja soomaatiliste rakkude arv sõltuvad enam konkreetsest farmist. Lisaks ilmnes analüüsi käigus, et kümne enim kasutatud pulli tütreid paiknevad pigem keskmisest paremate söötmis- ja pidamistingimustega farmides. Nende päevane piimatoodang ning piima soomaatiliste rakkude arv on pigem keskmisest paremad, mis annab aimu, et suurtes heade pidamis- ja söötmistingimustega farmis valitakse pulle selle järgi, et nad pärandaksid järglastele võimalikult kõrge toodanguvõime ning madala udarahaiguste riski.

Kasutatud kirjandus

1. Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS. (2020). Jõudluskontrolli aastaaruanded 2019. Kontrollaasta toodang maakondades ja vabariigis 2019. Kasutatud 8.04.2020, <https://www.epj.ee/assets/tekstid/piimaveised/aastaaruanded/2019/ka2019.pdf>
2. Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS. (2020). Eesti Jõudluskontrolli aastaraamat 2019. Kasutatud 22.04.2020, https://www.epj.ee/assets/tekstid/aastaraamatud/aastaraamat_2019.pdf
3. Kalmus, P. (2019). Madalam SRA piirarv. Kasutatud 8.04.2020, [https://www.epj.ee/jkk/piimaveised/piimaveiste-jõudluskontrolli-kasulik-teave/madalam-sra-piirarv-\(jaanuar-2019\).html](https://www.epj.ee/jkk/piimaveised/piimaveiste-jõudluskontrolli-kasulik-teave/madalam-sra-piirarv-(jaanuar-2019).html)
4. Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS. (2019). Piimaveiste jõudluskontrolli käsiraamat. Toorpiima kvaliteet (lk 10-11). Kasutatud 8.04.2020, https://www.epj.ee/assets/tekstid/Piimaveiste_jk_kasiraamat_mai2019.pdf
5. Kaart, T. (2012). Loomade aretusväärtuse hindamine ja aretusprogrammid, VL.0192. Loengumaterjalid. Kasutatud 05.05.2020, http://www.eau.ee/~ktanel/VL_0192/
6. Kaart, T. (2001). Ülevaade geneetiliste parameetrite hindamisel kasutatavatest mudelitest. Eesti Põllumajandusülikooli Loomakasvatuse instituudi teadustöid 71 (lk 52-66). Tartu. Kasutatud 05.05.2020, http://www.eau.ee/~ktanel/kaart_2001_LKI.pdf
7. Shook, G. (2014). *The Birth of Somatic Cell Score And Our Big Mistake in Creating It*. Kasutatud 19.03.2020, <https://www.dairyherd.com/article/birth-somatic-cell-score-and-our-big-mistake-creating-it>

Lisad

Lisa 1

Tabel 9. Töös kasutatud andmestiku näide

	ID	Lact	Herd	Rec_date	DIM	MIM	Calv_m	Calv_y	Milk10	Fat100	Prot100	SCC1000	SCS	SeqSire	SA
	ID	Lact	Herd	Rec_date	DIM	MIM	Calv_m	Calv_y	Milk10	Fat100	Prot100	SCC1000	SCS	SeqSire	SA
1	50131314	1	151001	2015-12-10	89	(65,95]	9	2015	357	530	286	16	0.35614381	1390999	2013
2	50131314	1	151001	2015-11-20	69	(65,95]	9	2015	375	367	328	21	0.74846123	1390999	2013
3	50131314	1	151001	2015-10-21	39	(35,65]	9	2015	364	387	313	354	4.82374936	1390999	2013
4	50131314	1	151001	2016-01-18	128	(125,155]	9	2015	305	333	305	23	0.87970577	1390999	2013
5	50131314	1	151001	2016-04-19	220	(215,245]	9	2015	287	415	362	29	1.21412481	1390999	2013
6	50131314	1	151001	2016-03-16	186	(185,215]	9	2015	298	379	353	81	2.69599381	1390999	2013
7	50131314	1	151001	2016-06-07	269	(245,275]	9	2015	266	399	354	29	1.21412481	1390999	2013
8	50131314	1	151001	2016-05-19	250	(245,275]	9	2015	282	477	366	35	1.48542683	1390999	2013
9	50131314	1	151001	2016-02-15	156	(155,185]	9	2015	255	385	324	61	2.28688115	1390999	2013
10	50131314	2	151002	2016-09-16	33	(4.64,35]	8	2016	407	431	299	12	-0.05889369	1390999	2013
11	50131314	2	151002	2016-10-17	64	(35,65]	8	2016	380	413	315	23	0.87970577	1390999	2013
12	50131314	2	151002	2016-12-12	120	(95,125]	8	2016	330	434	354	13	0.05658353	1390999	2013
13	50131314	2	151002	2016-11-16	94	(65,95]	8	2016	386	464	344	18	0.52606881	1390999	2013
14	50131314	2	151002	2017-06-26	316	(305,335]	8	2016	283	488	352	13	0.05658353	1390999	2013
15	50131314	2	151002	2017-03-21	219	(215,245]	8	2016	347	396	339	11	-0.18442457	1390999	2013

Lisa 2

R'i kood piimatoodangu mudeli parameetrite hindamiseks, juhusliku efekti leidmiseks, mudelist oodatavate laktatsioonikõverate hindamiseks ning jooniste 10 (A), 11 ja 15 konstrueerimiseks.

```
# Analüüsis vajalikud R'i paketid
library(lme4)
library(emmeans)
library(car)
# -----
# Piimatoodangu mudel
piim.model.2 <- lmer(Milk10 ~ (DIM+I(DIM^2)+I(DIM^3)+I(DIM^4))*Lact + Calv_m + Calv_y +
  (1|SeqSire) + (1|Herd) + (1|SeqSire:Herd), data=andmestik)
# -----
# Mudeli hindamine
# Mudelisse kaasatud fikseeritud faktorite mõju olulisused
Anova(piim.model.2)
# Mudeli tulemuste tellimine
summary(piim.model.2)
# Laktatsioonide keskmine erinevus (mudelist hinnatuna)
emmeans(piim.model.2, ~Lact)
# -----
# Juhuslike faktorite mõju osakaalude sektordiagramm
# Joonis 10 (A)
var.table <- data.frame(summary(piim.model.2)$varcor)
```

```

rel_var.table <- trimws(paste(format(round(100*var.table$vcov/sum(var.table$vcov),2),nsmall=1), "%",
sep=""))
par(mar=c(0,1,0,0))
pie(var.table$vcov, init.angle=65, col=c("grey55","grey12","green3","white"),
labels=paste(c("Pull*Farm","Pull","Farm","Jääk"),"\n", rel_var.table), cex=0.8, radius=0.8)

# -----
# Juhusliku efekti arvutamine
# Tabel, kus veerus "condval" on kirjas kõik juhuslikud efektid;
# veerus "grp" on kirjas pulli/farmi/pulli:farmi number, millele juhuslik efekt vastab;
# veerus "grpvar" on juhuslike faktorite nimed "Herd", "SeqSire" ja "SeqSire:Herd";
ran.effects <- data.frame(ranef(SRS.model.2))
summary(ran.effects)

bull.effects <- ran.effects[ran.effects$grpvar=="SeqSire",c("grp","condval")]
herd.effects <- ran.effects[ran.effects$grpvar=="Herd",c("grp","condval")]
bull_herd.effects <- ran.effects[ran.effects$grpvar=="SeqSire:Herd",c("grp","condval")]

# Jagab pulli ja karja numbroid sisaldava veeru kaheks (uute veergude nimedeks saavad vaikimisi X1 ja
X2)
bull_herd.effects2 <- data.frame(do.call(rbind, strsplit(as.character(bull_herd.effects$grp),":")),
bull_herd.effects$condval)
names(bull_herd.effects2) <- c("Sire","Herd","Effect") # veergudele uued nimed

# -----
# Tabel, mis sisaldab üle kõigi fikseeritud faktorite väärtuste keskmistatud kõverat
# (oodatavad laktatsioonikõverad)
fixed.emmean.5_305 <- data.frame(emmeans(SRS.model.2, ~DIM, at=list(DIM=c(5:305)),
cov.keep=length(5:305)))
#summary(fixed.emmean.5_305)

# -----
# Joonis 11
# Mudelist hinnatud päevane piimatoodang (A) farmide kaupa ja (B) pullide kaupa
par(mfrow=c(1,2))
par(mar=c(2,2,0.5,0.5), oma=c(2,1.8,0,0))

# Farmide joonis
plot(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, type="l", ylim=c(0,50), lwd=0,
col="red", xlab="", ylab="", cex.axis=0.8) # Tühi joonis, kuhu jooni lisada

for (i in 1:length(herd.effects$grp)) {
selected_herd <- as.character(herd.effects$grp[i])
sel_herd.effect <- herd.effects[herd.effects$grp==selected_herd,"condval"]/10

lines(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10+rep(sel_herd.effect,301),
col=rgb(0,0,0,0.3))
}
# üldkeskmine kõver
lines(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, lwd=2, col="red")
text(300, 50, "(A)", adj=c(1,1))

# Pullide joonis
plot(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, type="l", ylim=c(0,50), lwd=0,
col="red", xlab="", ylab="", cex.axis=0.8) # Tühi joonis, kuhu jooni lisada

```

```

for (i in 1:length(bull.effects$grp)) {
  selected_bull <- as.character(bull.effects$grp[i])
  sel_bull.effect <- bull.effects[bull.effects$grp==selected_bull,"condval"]/10

  lines(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10+rep(sel_bull.effect,301),
col=rgb(0,0,0,0.3))
}
# üldkeskmise kõver
lines(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, lwd=2, col="red")
text(300, 50, "(B)", adj=c(1,1))

mtext("Lüpsipäev", side=1, line=0.75, outer=T)
mtext("Piim (kg)", side=2, line=0.75, outer=T)
par(mfrow=c(1,1))

# -----
# Joonis 15
# Mudelist hinnatud päevane piimatoodang kümne enim kasutatud pulli tütardel sajas farmis,
# kus konkreetse pulli tütreid on enim

# bull_10 - kümne enim kasutatud pulli ID

# bull_10.herd – kümne enim kasutatud pulli tütarde jagunemine karjade lõikes
# sorteerin nii, et eespool oleksid enam kasutatud pullid ja nende siseselt suurema tütarde arvuga farmid

n_herd=100 # Kui mitme farmi kohta pulli kõverad joonistatakse

par(mfrow=c(5,2))
par(mar=c(2,2,0.5,0.5), oma=c(2,2,0,0))

for (j in 1:10) {
  plot(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, type="l", ylim=c(10,50), lwd=0,
    col="red", xlab="", ylab="") # Tühi joonis, kuhu jooni lisada

  bull.1 <- head(bull_10.herd[bull_10.herd$SeqSire==bull_10$SeqSire[j],], n_herd) #n_herd farmi, kus on
konkreetsed pulli j tütreid enim
  selected_bull <- as.character(bull.1$SeqSire[j])
  text(x=300, y=50, selected_bull, cex=0.9, adj=c(1,1)) #lisab pulli ID ülesse paremasse nurka
  sel_bull.effect <- bull.effects[bull.effects$grp==selected_bull,"condval"]/10

  for (i in 1:n_herd) {
    selected_herd <- as.character(bull.1$Herd[i])
    sel_herd.effect <- herd.effects[herd.effects$grp==selected_herd,"condval"]/10
    sel_herd_bull.effect <-
bull_herd.effects2[(bull_herd.effects2$Sire==selected_bull)&(bull_herd.effects2$Herd==selected_herd),"
Effect"]/10
    lines(fixed.emmean.5_305$DIM,
fixed.emmean.5_305$emmean/10+rep(sel_bull.effect,301)+rep(sel_herd.effect,301)+rep(sel_herd_bull.eff
ect,301), col=rgb(0,0,0,0.3))
  }
  # üldkeskmise kõver
  lines(fixed.emmean.5_305$DIM, fixed.emmean.5_305$emmean/10, lwd=2, col="red")
}

mtext("Lüpsipäev", side=1, line=0.75, outer=T)
mtext("Piim (kg)", side=2, line=0.9, outer=T)
par(mfrow=c(1,1))

```

Lisa 3

Antud lisas on R'i väljundid mudelisse kaasatud fikseeritud faktorite mõjude statistilise olulisuse leidmisest kõigi analüüsitud piimatoodangu- ja -kvaliteedinäitajate korral. Kasutatud on R'i paketis 'car' sisalduvat funktsioon Anova(). Esimene R'i väljund on piimatoodangu mudeli kohta, teine piima rasvavasisalduse mudeli kohta, kolmas piima valgusisalduse mudeli kohta ning neljas somaatiliste rakkude skoori mudeli kohta.

```
> Anova(piim.model.2)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: Milk10

          Chisq Df Pr(>Chisq)
DIM          14196.602  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^2)      13463.954  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^3)       7922.112  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^4)       5062.144  1 < 2.2e-16 ***
Lact        110477.455  4 < 2.2e-16 ***
Calv_m        3333.438 11 < 2.2e-16 ***
Calv_y        4851.841  7 < 2.2e-16 ***
DIM:Lact         99.719  2 < 2.2e-16 ***
I(DIM^2):Lact    171.971  2 < 2.2e-16 ***
I(DIM^3):Lact    138.439  2 < 2.2e-16 ***
I(DIM^4):Lact     95.554  2 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> Anova(rasv.model.2)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: Fat100

          Chisq Df Pr(>Chisq)
DIM          41771.215  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^2)      26544.576  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^3)      16650.383  1 < 2.2e-16 ***
I(DIM^4)      11750.407  1 < 2.2e-16 ***
Lact          948.210  4 < 2.2e-16 ***
Calv_m        209.212 11 < 2.2e-16 ***
Calv_y        380.277  7 < 2.2e-16 ***
DIM:Lact        81.558  2 < 2.2e-16 ***
I(DIM^2):Lact    63.986  2 1.275e-14 ***
I(DIM^3):Lact    68.268  2 1.499e-15 ***
I(DIM^4):Lact    67.245  2 2.500e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> Anova(alk.model.2)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: Prot100
```

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
DIM	32971.272	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^2)	36577.299	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^3)	28460.968	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^4)	23276.537	1	< 2.2e-16 ***
Lact	8375.198	4	< 2.2e-16 ***
Calv_m	600.636	11	< 2.2e-16 ***
Calv_y	4041.821	7	< 2.2e-16 ***
DIM:Lact	290.017	2	< 2.2e-16 ***
I(DIM^2):Lact	154.175	2	< 2.2e-16 ***
I(DIM^3):Lact	58.987	2	1.553e-13 ***
I(DIM^4):Lact	26.309	2	1.936e-06 ***

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> Anova(som.model.2)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: SCS
```

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
DIM	3219.593	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^2)	3085.431	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^3)	2321.100	1	< 2.2e-16 ***
I(DIM^4)	1849.918	1	< 2.2e-16 ***
Lact	19006.186	4	< 2.2e-16 ***
Calv_m	337.070	11	< 2.2e-16 ***
Calv_y	1433.680	7	< 2.2e-16 ***
DIM:Lact	534.881	2	< 2.2e-16 ***
I(DIM^2):Lact	187.326	2	< 2.2e-16 ***
I(DIM^3):Lact	123.812	2	< 2.2e-16 ***
I(DIM^4):Lact	95.512	2	< 2.2e-16 ***

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Annela Pajumets,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Farmi ja isa mõju Eesti piimalehmade piimajõudlus- ja -kvaliteedinäitajatele“, mille juhendaja on Tanel Kaart, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Annela Pajumets

15.05.2020